新农村新人才系列

看图学电工电子
—— 工具·仪表·元器件

陈铁山　主编

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京 • BEIJING

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

内 容 简 介

本书采用看图学的形式，通俗直观地介绍电工电子常用工具、仪表和元器件的种类、外形、功能、选用、识别与检测方面的基础知识和基本技能，重点介绍电工电子工具、仪表和常用元器件最基本的实用知识，重点突出直观性、实用性和针对性，力求达到读后即用的效果。

本书适合具有初中以上文化程度的广大读者使用，尤其适合电工电子科技人员自学和新农村书屋电工电子初学者、维修人员、制作人员、工厂装配人员、农电工、维修店学员和电工电子爱好者阅读。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

看图学电工电子：工具 • 仪表 • 元器件 / 陈铁山主编. 北京：电子工业出版社，2009.8
（新农村新人才系列）
ISBN 978-7-121-09493-4

I. 看… Ⅱ.陈… Ⅲ.①电子技术－图解②电工技术－图解 Ⅳ.TN-64 TM-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2009）第 160701 号

责任编辑：富 军
印 刷：
装 订：
出版发行：电子工业出版社
北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036
开 本：880×1 230 1/32 印张：6.75 字数：212 千字
印 次：2009 年 8 月第 1 次印刷
印 数：5 000 册 定价：13.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

前　言

工具、仪表及元器件是电工电子初学人员最基本的学习内容。目前市面上介绍电工电子元器件和检测工具的书有一些，但大多是独立介绍元器件或独立介绍检测工具的，而同时介绍工具、仪表和元器件且配有大量实物图的初级入门书较少。为此，笔者采用“看图学”的方式编写了本书，其目的是让广大具有初中文化程度以上的读者通过直观、简捷的方式学好电工电子工具、仪表和元器件的基础知识和基本技能。“看图学”的方式，一方面，能将复杂的问题直观化；另一方面，采用大量的实物图片能增强读者的实践动手能力。实践表明，只有掌握了电工电子工具、仪表和元器件的基础知识，才能进行基本的电工电子测试，才能对电器进行检测和维修。

本书在内容的安排上，采用三大章进行介绍，侧重于电工工具、仪表和元器件的介绍，同时兼顾电工电子通用的基础知识和基本技能的介绍。取材详略得当，内容全面，形式新颖，图文并茂。

本书在编写过程中，陈金桂、张云坤、王光玉、王灿、刘淑华、刘桂华、张美兰、周志英、刘玉华、刘文初、刘爱兰、袁文初等同志参加了部分内容的编写、资料整理、插图和文字录入工作，在此谨表谢意！

由于作者水平有限，书中错漏之处在所难免，恳请广大读者指评指正！

编　者

目　　录

第 1 章　常用工具篇……1

1.1　基本工具及耗材……1

1.1.1　螺丝刀……1

1.1.2　电工刀……2

1.1.3　镊子……3

1.1.4　不锈钢空心针……3

1.1.5　钳子……4

1.1.6　扳手……6

1.1.7　卷尺和钢直尺……9

1.1.8　千分尺……9

1.1.9　试电笔……10

1.1.10　直流电桥……12

1.1.11　测速卡……13

1.1.12　导电材料……14

1.1.13　粘补材料……15

1.1.14　焊锡和助焊剂……17

1.1.15　绝缘漆布……18

1.1.16　绝缘漆管……19

1.1.17　电工粘带……20

1.1.18　电动机绝缘漆……21

1.2　电烙铁……23

1.2.1　电烙铁分类……23

1.2.2　电烙铁的使用……27

1.2.3　使用电烙铁的焊接技能……29

1.2.4 电烙铁的维护与保养 ……31
1.3 热风拆焊器 ……31
1.3.1 常用的热风拆焊器 ……31
1.3.2 热风拆焊器焊接技巧 ……35
1.4 吸锡器 ……36
1.4.1 常用吸锡器 ……36
1.4.2 吸锡器的使用 ……37
1.5 其他工具 ……37
1.5.1 手摇绕线机 ……37
1.5.2 划线板 ……38
1.5.3 清槽片 ……39
1.5.4 通针 ……39
1.5.5 拉具 ……40
1.5.6 压线板 ……40
1.5.7 黏度计 ……41
第 2 章 常用仪表篇 ……42
2.1 万用表 ……42
2.1.1 万用表简介 ……42
2.1.2 MF47 型指针式万用表 ……44
2.1.3 DT9205A 数字式万用表 ……49
2.1.4 万用表的日常维护与保养 ……53
2.2 钳形电流表 ……54
2.2.1 钳形电流表简介 ……54
2.2.2 钳形电流表的使用 ……55
2.3 兆欧表 ……56
2.3.1 兆欧表简介 ……56
2.3.2 兆欧表的使用 ……60
2.4 转轴转速表 ……64
2.4.1 数字式转速表 ……65
2.4.2 离心式转速表 ……65

2.5 电能表 …… 66
2.5.1 机械电能表工作原理 …… 66
2.5.2 IC 卡式电能表工作原理 …… 67
2.6 漏电检测仪 …… 67
2.6.1 漏电检测仪简介 …… 67
2.6.2 漏电检测仪的使用 …… 68
第 3 章 电力电子器件篇 …… 69
3.1 电力电容器 …… 69
3.1.1 电力电容器的正确使用 …… 69
3.1.2 电力电容器的保护 …… 70
3.1.3 电力电容器的维护 …… 71
3.1.4 电力电容器的常见故障及处理方法 …… 72
3.2 短路接地线 …… 73
3.2.1 短路接地线简介 …… 73
3.2.2 短路接地线的维护与保养 …… 73
3.3 电刷和刷握 …… 74
3.3.1 电刷和刷握简介 …… 74
3.3.2 电刷和刷握的调整 …… 75
3.4 线路器材 …… 76
3.4.1 闸刀开关和空气开关 …… 76
3.4.2 漏电断路器 …… 76
3.4.3 照明开关 …… 77
3.4.4 插座 …… 79
3.4.5 导线 …… 79
3.4.6 电线保护管 …… 80
3.5 晶体二极管 …… 80
3.5.1 晶体二极管的分类 …… 82
3.5.2 晶体二极管的命名 …… 93
3.5.3 晶体二极管的主要参数 …… 94
3.5.4 晶体二极管的结构与符号 …… 97

3.5.5 晶体二极管的选用……103
3.5.6 晶体二极管的检测……106
3.6 晶体三极管……114
3.6.1 晶体三极管的分类……115
3.6.2 晶体三极管的命名……116
3.6.3 晶体三极管的参数……117
3.6.4 晶体三极管的结构与符号……120
3.6.5 晶体三极管的选用……124
3.6.6 晶体三极管的检测……127
3.7 场效应晶体管……131
3.7.1 场效应晶体管的分类……132
3.7.2 场效应晶体管的命名……134
3.7.3 场效应晶体管的结构与符号……135
3.7.4 场效应晶体管的参数……138
3.7.5 场效应晶体管的使用……139
3.7.6 场效应晶体管的检测……141
3.8 晶体闸流管……143
3.8.1 晶闸管的分类……143
3.8.2 晶闸管的命名……144
3.8.3 晶闸管的参数……146
3.8.4 晶闸管的结构与符号……149
3.8.5 晶闸管的选用……154
3.8.6 晶闸管的检测……155
3.9 集成电路……161
3.9.1 集成电路的种类……161
3.9.2 集成电路的构成……163
3.9.3 集成电路的参数……169
3.9.4 集成电路的应用……170
3.9.5 集成电路的检测……173
3.9.6 集成电路的代换……175

3.9.7 集成电路的拆装……177
3.10 电阻器……180
3.10.1 色环电阻器的检测……180
3.10.2 电位器的检测……182
3.11 电容器……184
3.11.1 固定电容器的检测……184
3.11.2 可变电容器的检测……187
3.12 电感器……188
3.12.1 电感器好坏的检测……188
3.12.2 电源变压器的检测……189
3.13 电力晶体管……191
3.13.1 电力晶体管的性能特点……191
3.13.2 电力晶体管的种类……192
3.13.3 电力晶体管的检测……193
附录 A 常用电工英语……194
附录 B 电工电子常用电路或器件符号……199

第 1 章　常用工具篇

1.1　基本工具及耗材

1.1.1　螺丝刀

螺丝刀又称改锥，是一种紧固或拆卸螺钉的工具。一般情况下，螺丝刀可分为两大类：一类为手动螺丝刀；另一类为电动螺丝刀。

1．手动螺丝刀

手动螺丝刀按握柄所用材料，可分为木柄螺丝刀和塑料柄螺丝刀两种；按头部形状，可分为一字形、十字形和多用螺丝刀。

（1）一字形螺丝刀

一字形螺丝刀是用来紧固或拆卸一字槽螺钉的，其规格用握柄以外的刀杆长度表示，常用的有 50～400mm。

（2）十字形螺丝刀

十字形螺丝刀常用的规格有 4 种，适应 2～12mm 螺钉的紧固或拆卸。

（3）多用螺丝刀

多用螺丝刀的握柄和刀体是可以拆卸的，握柄采用塑料制成，能与几种一字形和十字形刀体装配使用，实际上是一种组合工具，如图 1-1 所示。

2．电动螺丝刀

电动螺丝刀的外形如图 1-2 所示，该螺丝刀通常可分为两大类：一类

为低压直流电动螺丝刀；另一类为直插式交流 110V/220V 电动螺丝刀。



图1-1　多用螺丝刀



图1-2　电动螺丝刀外形图

1.1.2　电工刀

电工刀是电工常用的一种切削工具，外形如图 1-3 所示。

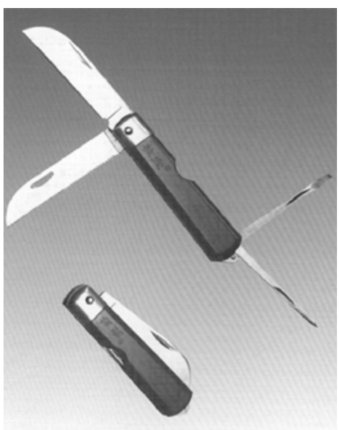


图1-3　电工刀外形图

使用电工刀时，应注意以下事项：

（1）用电工刀剖削电线绝缘层时，可把刀略微翘起一些，用刀刃的圆角抵住线芯。

（2）导线接头之前应把导线上的绝缘层剥除，用电工刀切剥时，刀口

千万别伤着芯线。常用的剥削方法有两种，即分段剥落和斜削法。

（3）电工刀的刀刃部分要磨得锋利才好剥削电线，但不可太锋利，太锋利容易削伤线芯。磨刀刃时一般采用磨刀石或油磨石，磨好后再把底部磨点倒角，即刃口略微圆一些。

（4）对双芯护套线的外层绝缘的剥削，可以用刀刃对准两芯线的中间部位，把导线一剖为二。

1.1.3　镊子

镊子，主要用于夹持导线、元件及集成电路引脚等，它作为手的延伸，是电工维修中必备的工具之一。镊子的实物图如图 1-4 所示。



图1-4　镊子的实物图

焊接在电路板上的电子元器件大部分都较小，因而在维修时必须借助于辅助工具——镊子。不同的场合需要不同的镊子，一般要准备直头、平头、弯头镊子各一把。弯头镊子常用在使用热风枪吹焊操作中。镊子的头要求既薄又尖，这样在操作时才能减少对其他元器件的影响。

1.1.4　不锈钢空心针

不锈钢空心针是拆卸元器件的必备工具，其实物如图 1-5 所示。使用时，将针孔穿入元件引脚，用烙铁加热，略做旋转，即可使元件引脚与印制电路板铜箔彻底分离。



图1-5　不锈钢空心针实物图

1.1.5　钳子

使用钳子通常用右手操作。将钳口朝内侧，便于控制钳切部位，用小指伸在两钳柄中间来抵住钳柄，张开钳头，这样分开钳柄灵活。

1．尖嘴钳

尖嘴钳又称修口钳，外形如图 1-6 所示。它是电工（尤其是内线电工）常用的工具之一，主要用来剪切线径较细的单股与多股导线以及给单股导线接头弯圈、剥塑料绝缘层等。

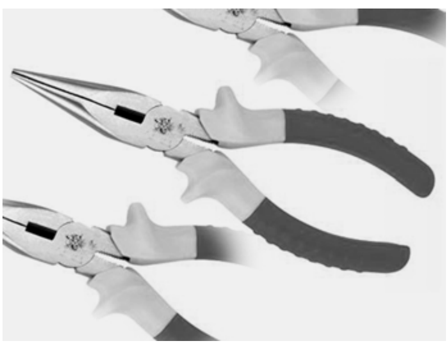


图1-6　尖嘴钳外形图

2．剥线钳

剥线钳的外形如图 1-7 所示。它适宜于塑料、橡胶绝缘电线、电缆芯线的剥皮。使用方法是：将待剥皮的线头置于钳头的刃口中，用手将两钳

柄一捏，然后一松，绝缘皮便与芯线脱开。

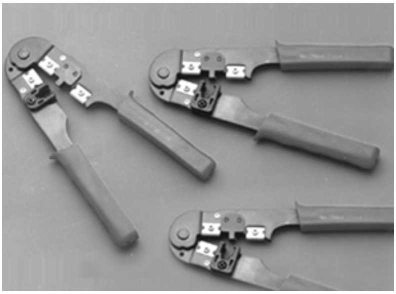


图1-7　剥线钳外形图

3．钢丝钳

钢丝钳的外形如图 1-8 所示。电工常用的钢丝钳有 150mm、175mm、200mm、250mm 等多种规格，可根据内线或外线工种需要选购。钳子的齿口可用来紧固或拧松螺母，刀口可用来切剪电线、铁丝以及剖切软电线的橡皮或塑料绝缘层，铡口可用来切断电线、钢丝等较硬的金属线。



图1-8　钢丝钳外形图

钢丝钳的绝缘塑料管耐压在 500V 以上，有了它可以带电剪切电线。使用中切忌乱扔，以免损坏绝缘塑料手柄。

1.1.6 扳手

1．活动扳手

活动扳手又称活扳手，其外形如图 1-9 所示。它是一种旋紧或拧松有角螺钉或螺母的工具。电工常用的有 200mm、500mm、300mm 三种，使用时应根据螺母的大小选配。



图1-9 活动扳手外形图

使用时，应注意以下事项：

① 使用时，右手握手柄，手越靠后，扳动起来越省力。

② 扳动小螺母时，手应握在靠近呆扳唇处，并用大拇指调节蜗轮，以适应螺母的大小。

③ 夹持螺母时，呆扳唇在上，活扳唇在下，且不能把活络扳手当锤子用。

④ 扳动生锈的螺母时，可在螺母上滴几滴煤油或机油。

⑤ 在拧不动时，切不可采用钢管套在活络扳手的手柄上来增加扭力，因为这样极易损伤活动扳唇。

2．开口扳手

开口扳手又称呆扳手，它有单头和双头两种，外形如图 1-10、图 1-11 所示。其开口是和螺钉头、螺母尺寸相适应的，并根据标准尺寸做成一套。



图1-10　单头扳手



图1-11　双头扳手

3．整体扳手

整体扳手有正方形、六角形、十二角形等，其中，十二角形扳手又称梅花扳手，它只要转过 30°，就可改变扳动方向，所以在狭窄的地方工作较为方便。

（1）外六角扳手

外六角扳手，其外形如图 1-12 所示。它主要用于装拆大型外六角螺钉或螺母。



图1-12　外六角扳手外形图

（2）内六角扳手

内六角扳手，其外形如图 1-13 所示。它主要用于装拆内六角螺钉。



图1-13 内六角扳手外形图

（3）套筒扳手

套筒扳手是由一套尺寸不等的梅花筒组成，如图 1-14 所示。使用时用弓形的手柄连续转动，工作效率较高。



图1-14 套筒扳手

（4）棘轮扳手

棘轮扳手，其外形如图 1-15 所示。当螺钉或螺母的尺寸较大或扳手的工作位置很狭窄时，就可使用这种扳手。拧紧时作顺时针转动手柄。方形的套筒上装有一只撑杆。当手柄向反方向扳回时，撑杆在棘轮齿的斜面中滑出，因而螺钉或螺母不会跟随反转。如果需要松开螺钉或螺母，只需翻转棘轮扳手朝逆时针方向转动即可。



图1-15　棘轮扳手外形图

（5）测力扳手

测力扳手有一根长的弹性杆，其一端装着手柄，另一端装有方头或六角头，在方头或六角头上套装一个可换的套筒用钢珠卡住；在顶端上还装有一个长指针。刻度板固定在柄座上，每格刻度值为 1 牛顿（或公斤/米）。当要求一定数值的旋紧力，或几个螺母（或螺钉）需要相同的旋紧力时，则可使用测力扳手。

1.1.7　卷尺和钢直尺

卷尺和钢直尺都是测量工具，用于测量长度。例如，在电动机维修中，一般应配用钢卷尺一条（2m）和钢直尺一条（20～30cm）。

1.1.8　千分尺

千分尺有多种类型。电动机维修用的千分尺主要用做测量漆包线的线径，一般选用测量范围为 0～25mm 的千分尺，如图 1-16 所示为千分尺实物图。千分尺的测微原理主要是螺旋读数机构，它包括一对精密的螺纹副件（测微螺杆和螺纹轴套）和一对读数套筒（固定套筒和微分筒）。固定套筒上刻有轴向中线，作为微分筒的基准线；同时，在轴向中线上下还刻有两排刻线，间距为 1mm，且上排与下排错开 0.5mm。上排刻有 0～25mm 整数字码，下排不刻数字。电子千分尺则通过显示屏直接显示尺度。



图1-16　千分尺外形图

使用时，把被测零件（如漆包线）置于测量杆与固定砧之间，然后顺时针旋转测力装置。每旋转一周，测微螺杆就前进 0.5mm，被测尺寸的最小数值就是其测量精度（一般为 0.01mm）。当旋转测力装置发出棘轮打滑声时，即可停止转动，在固定套筒上读出整数值，在微分套筒上读出小数值。

使用千分尺测量时应注意以下几个方面：

（1）被测的漆包线要放直，不能弯曲，否则会影响测量结果。

（2）擦净两个测量面，对准零位，确认没有漏光现象。

（3）测量时只能旋转测力装置，不得直接旋转微分筒，否则会使精密螺纹变形，影响测量精度，甚至造成千分尺损坏。

1.1.9　试电笔

试电笔分高压和低压两种。试电时，必须选用合格的与电压等级相同的专用试电笔，它属于基本安全用具。

试电笔，如图 1-17 所示，通常有感应式和电子式两种。它是用来检测低压线路和电气设备是否带电的低压测试器，检测的电压范围为 60～500V。感应式试电笔由壳体、笔尖头、电阻、氖管、弹簧组成。检测时，氖管亮则为带电。

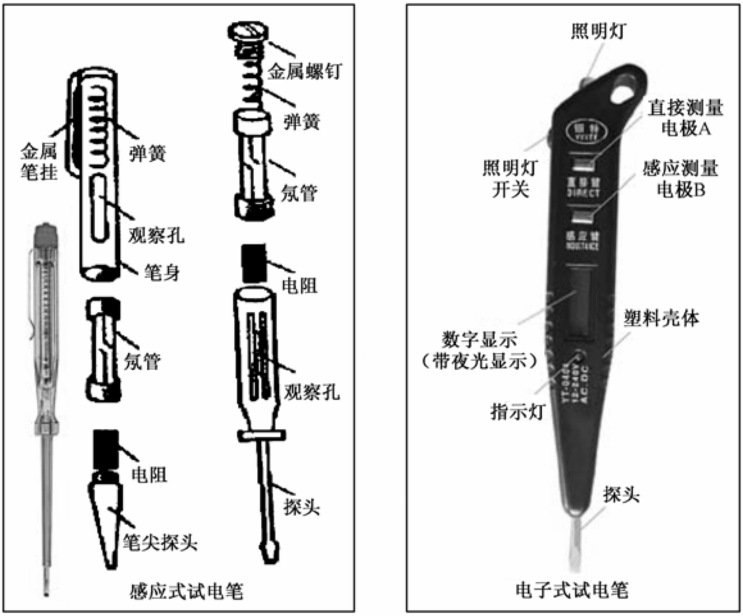


图1-17　试电笔

由于试电笔里的降压电阻阻值很大，因此试电时，流过人体的电流很微弱，属于安全电流，对使用者不会有危险。

使用试电笔时应注意：

（1）使用前，一定要在有电的电源上试验，以鉴定试电笔确属完好，然后方可使用。

（2）低压试电笔前端应加护套，只能露出 10mm 左右的一截作测试用，若不加护套，因低压设备相线之间及相线对地线之间的距离较小，极易引起相线之间及相线对地短路。

（3）因氖管亮度较低，应避光，以防误判。

（4）螺丝刀式试电笔的刀体只能承受很小的扭矩，不可作一般的螺丝刀使用。

1.1.10 直流电桥

直流电桥是用比较法测量电阻的一种仪器，如图 1-18 所示。它分为直流单臂电桥和直流双臂电桥两种。下面以直流单臂电桥为例进行说明。



图1-18 直流电桥

直流单臂电桥电路原理如图 1-19 所示。图中 E 为直流电源（干电池），R_1、R_2、R_3 为标准电阻，R_x 为被测量电阻，通常把 R_1/R_2 称为比率臂，R_3 称为比较臂，R_x 称为被测臂；P 为高灵敏度检流计，如有微小电流通过，指针就会偏转。当检流计中的电流为 0，即电桥平衡时，此时被检测电阻：

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_3$$

因此，只要调整比率臂 R_1/R_2 和比较臂 R_3 的数值，使电桥平衡，即可得到被测电阻 R_x 的数值。这种电桥常用在电动机维修中。

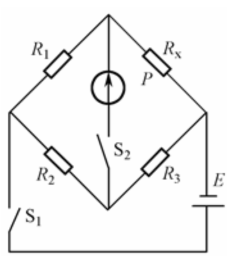


图1-19 直流单臂电桥原理图

使用直流电桥的注意事项：

（1）电桥的选用。测量 1～$10^6\Omega$范围内的电阻，应选用单臂电桥；测量 10^6～$10^{12}\Omega$范围内的电阻，应选用双臂电桥。

（2）双臂电桥连接被测电阻有 4 个端钮，不要接错。

（3）使用完毕后，先拆除电源，然后再拆除被测电阻，将检流计短路或将锁扣锁上。

1.1.11　测速卡

在电动机修理中，如果没有转速表，可用测速卡或用白色粉笔在皮带轮上划分扇形段，如图 1-20 所示，也可以求得转速的大约数值。

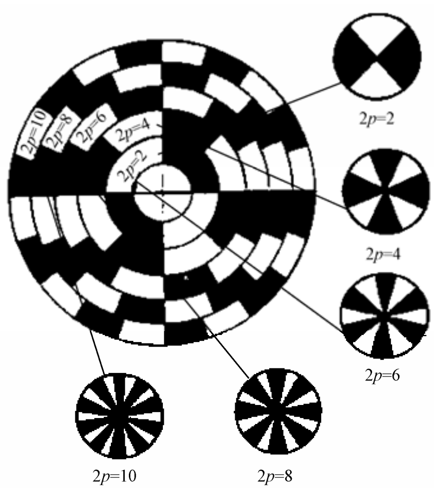


图1-20　测速卡

1．使用方法

测速卡是由黑白相间的扇形段组成。使用时装在被测转轴或贴在其皮带轮上。在皮带轮上直接均匀划分扇形段即可。

测速时，在测速卡前放置一盏日光灯照射，则会发现某一圈的图案静止不动或转得很慢。根据闪光测频原理，日光灯电源频率为 50Hz，当某一圈的图案静止不动时，假设最内圈 $2p=2$ 的图案不动，$p=1$。则电动机转

速（设为 n）$n=50\times60/p$（r/min）。$n=50\times60/1=3000$r/min

2．使用时的注意事项

（1）测速卡应安装牢固，转动时不得产生晃动。

（2）测速时一般取图案转动最慢的一圈进行测算。可以测量图案每转一圈所需的时间再换算成每分钟的转速Δn，计算出电动机的转速 n。

1.1.12 导电材料

1．导电布

导电布采用了电解方法在纺织物面上镀敷金属薄层，它是一种具有金属般的导电性能，但仍保持普通纺织物特性的新型电子材料，如图 1-21 所示。导电布的种类繁多，常见的有导电平布、吸收导电布、染色导电布胶及普及型导电纱布等。

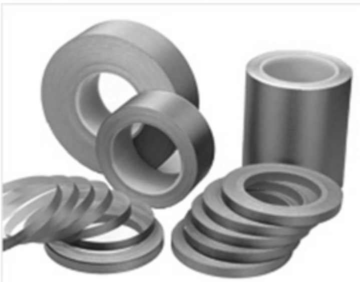


图1-21 导电布

导电布主要用于屏蔽电磁波辐射源，它能对投射其表面的电磁波产生强烈的反射作用，可使绝大部分射频与微波能量反射或吸收掉，透射分量极小，从而获得很大的屏蔽或衰减。经导电布保护的局部空间，可以明显消除环境电磁波辐射的污染。

2．导电涂料

导电涂料的主要成分是导电碳物质，该物质与按键上的橡胶导电层的物质完全相同。凡是高阻输入的按键电路损坏，都可使用导电涂料修复，

如图 1-22 所示。



图1-22　导电涂料

1.1.13　粘补材料

1．万能胶

万能胶，实质上是一种化学粘接剂。它能粘接多种材料，具有适用范围广、粘接牢固、使用方便、操作简单等特点。

万能胶的种类繁多，常见的分类方法有两种：① 按原胶组成，分为单一胶和混合胶；② 按固化时间长短，分为速粘胶和缓粘胶。

2．丙烯酸酯结构胶粘剂

丙烯酸酯结构胶粘剂一般由 A、B 两部分混合才能使用，所以又称 AB 胶。这种胶操作方便、室温下固化速度快、粘接强度高、粘接后性能优良。

实际使用时，先除去被粘表面的灰尘、锈渍及脏物，再将 A、B 两部分胶按一定比例混合均匀；接着在粘接件上单面或两面涂布、黏合。一般室温下 5min 左右即可固化定位。

若所粘接部位受力较大，则一定要等到几小时后粘接强度接近最终粘接强度，才能安装粘接件。

3．氰基丙烯酸酯胶粘剂

氰基丙烯酸酯胶粘剂又称 502 胶，它对各种材料都具有良好的胶接强

度，具有粘接速度快、透明性及流动性良好的特点。

因 502 胶较脆，所以适合粘接那些不受冲击或振动的部位，被胶接材料之间的缝隙也不可太大，一般在 0.01～0.08mm 之间。若间隙太大，不但固化时间加长，而且强度也明显降低。

4．热熔胶

热熔胶一般为圆柱状长条形，如图 1-23 所示。可根据使用空间的大小，取适当长的几根热熔胶，用电烙铁将其两端熔化，一端粘于适当位置，另一端粘于被粘件上。胶粘方法是边焊接边组装，边用热熔胶将元件或引脚粘固在基板平面上。粘点不必太大、太密、粘牢即可。采用该方法既能达到绝缘的目的，又能粘接牢固，十分方便。

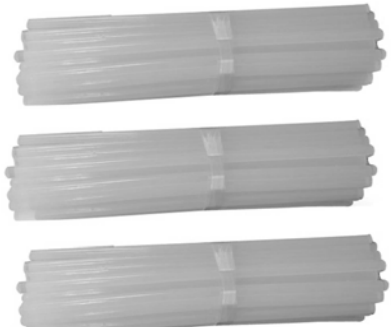


图1-23　热熔胶

采用热熔胶粘贴电子元件的优点是可将电子元件直接粘在绝缘板或塑料机壳上，省去印制电路板，缩小实验板的体积，省时省力，装拆方便。但不可粘接发热元件和强振动功能部件。特别适合实验电路，也适用于个人组装小仪器等的各种电子小制作。

熔解这种热熔胶的一种专用工具就是恒温热熔胶枪，其外形如图 1-24 所示，内部采用居里点为 280℃的 PTC 陶瓷发热元件制成。当胶棒在加热腔中受热几分钟后即熔为胶浆，再用手扣动扳机，胶浆即从喷嘴中挤出。



图1-24　热熔胶枪外形图

由于使用环境不一样，热熔胶枪的喷嘴做成了各种各样的形状，分为大号（耗电 40W、使用ϕ12×300 的胶条）；小号（耗电 12W、使用ϕ8×300 的胶条）。使用热熔胶枪十分方便，且不会造成任何环境污染。

1.1.14　焊锡和助焊剂

用电烙铁焊接元器件时，还需要焊锡和助焊剂。

1．焊锡

焊接电子元件，一般采用有松香芯的焊锡丝，实物如图 1-25 所示。这种焊锡丝，熔点较低，而且内含松香助焊剂，使用极为方便。

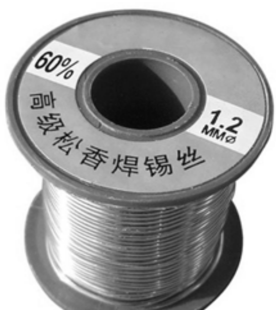


图1-25　松香焊锡丝实物图

2．助焊剂

焊接时一般都需要助焊剂，元器件引脚容易氧化，焊接时应采用助焊剂清除氧化物。助焊剂（FLUX）这个字来源于拉丁文“流动”（Flow in soldering）的意思。在焊接技术中，助焊剂的功能主要有四个：① 清除焊接金属件表面的氧化膜；② 在焊接物表面形成一层液态的保护膜隔绝高温时四周的空气，防止金属表面的再氧化；③ 降低焊锡的表面张力，增加其流动能力；④ 缩短焊接瞬间，可以让熔融状的焊锡迅速定位，顺利完成焊接。

常用的助焊剂是松香或松香水（将松香溶于酒精中）。使用助焊剂，不仅利于焊接，而且可以保护烙铁头。焊接较大元件或导线时，也可采用焊锡膏，但它有一定腐蚀性，焊接后应及时清除残留物。

1.1.15　绝缘漆布

绝缘漆布是用于电动机线圈的对地绝缘、槽绝缘和衬垫绝缘的一种绝缘材料，如图 1-26 所示。电工常用的绝缘漆布名称、耐热等级和用途如表 1-1 所示。



图1-26　绝缘漆布

表 1-1　电工常用绝缘漆布名称、耐热等级和用途

漆布名称	性　　能	用　　途
油性漆布	不耐油	适用于一般电动机绕组绝缘
	耐油性能较好	适用于一般电动机绕组或衬垫绝缘
沥青漆布	介电性能较好	适用于一般低压电动机、电器线圈或衬垫绝缘
油性漆绸	柔软性及介电性能良好	适用于电动机、电器和薄尼衬垫或线圈绝缘
	耐油性较好	适用于矿物油侵蚀环境中工作的电动机，电器的薄层衬垫或线圈绝缘
沥青醇酸玻璃漆布	耐潮性较好，耐汽油，变压器油性差	适用于一般电动机、电气设备的衬垫或线圈绝缘
醇酸玻璃漆布	耐油性较好，并有一定防霉性	适用于较高温度下使用的电动机、电器的衬垫或变压器的线圈绝缘
环氧玻璃漆布	电气性能、力学性能、耐湿热性能较高	适用于耐化学腐蚀的电动机、电器的槽绝缘、衬垫绝缘和线圈绝缘
聚酰亚胺玻璃漆布	防潮性、耐辐射性和耐溶剂性良好，且有高耐热性及介电性能	适用于工作在 220℃以上温度的电动机槽绝缘和端部衬垫绝缘
有机硅玻璃漆布	耐热性、耐寒性、耐霉性及耐油性较高	适用于 H 级电动机、电器的包扎绝缘
硅橡胶玻璃漆布	耐热性、耐寒性较高，且有良好的柔软性	适用于特种用途的低压电动机导线和端部绝缘
有机硅防电晕玻璃漆布	具有稳定的低电阻率	适用于高压定子绕组槽口处的防电晕材料

1.1.16　绝缘漆管

绝缘漆管是用棉纱、涤纶、玻璃丝等多种纤维作底材，浸以不同的绝缘漆，经烘干制成的绝缘材料，如图 1-27 所示。主要用于电动机线圈引出线和连接线的绝缘套管。电工常用绝缘漆管的名称、特性、耐热等级和用途如表 1-2。

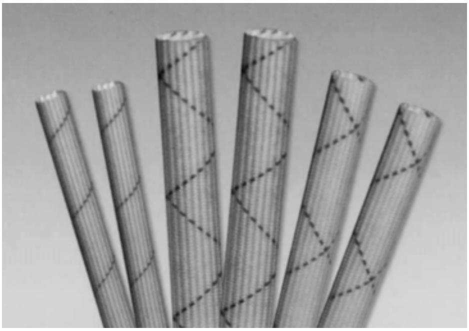


图1-27　绝缘漆管

表 1-2　电工常用绝缘漆管的名称、特性、耐热等级及用途

漆管名称	性　　能	用　　途
油性棉漆管	电性能和弹性较好，但耐热性、耐潮性差	适用于电动机、电器仪表等设备引出线和连接线绝缘
醇酸玻璃漆管	电气性能、力学性能、耐化学性能均良好，弹性也较好	适用于做电动机、电器和仪表等设备的引出线和连接线的绝缘
聚氯烯玻璃漆管	耐热性、耐潮性，且弹性也较好	适用于电动机、电气设备的引出线和连接线的绝缘
油性玻璃漆管	电性能和力学性能良好，且耐热、耐油性好，但弹性差	适用于电动机、电器和仪表等设备引出线和连线的绝缘
有机玻璃漆管	耐热性、耐潮性均良好，且电气性也较好	适用于 H 级电动机、电气设备的引出线和连接线的绝缘
硅橡胶玻璃漆管	耐寒性、耐热性及弹性均良好，电气和机械性能也良好	适用于在−60～180℃温度下工作的电动机、电器和仪表的引出线的绝缘

1.1.17　电工粘带

在常温或一定温度和压力下能自粘成型的带状材料称为粘带。它主要用作电动机和电器线圈的绝缘、固定、包扎，如图 1-28 所示。一般来说，电工粘带可分为薄膜粘带、铝物粘带和无底材粘带三类。电工常用粘带的性能和用途如表 1-3 所示。

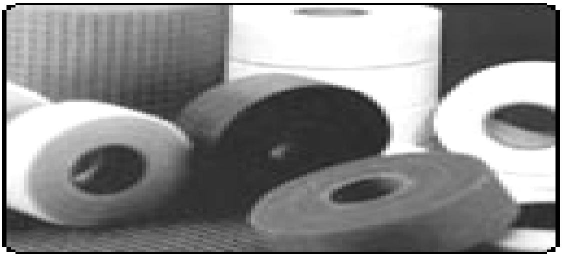


图1-28　电工常用粘带

表 1-3　电工常用粘带的性能及用途

粘 带 名 称	性　　能	用　　途
聚酯薄膜粘带	机电性能好，但耐热较低	可用做电动机线圈绝缘、对地绝缘和密封绝缘
环氧玻璃粘带	机电性能较高	可用做电动机绕组包扎绝缘
聚酰亚胺薄膜粘带	机电性能和耐热性能较高	可用做 H 级电动机线圈绝缘
有机硅玻璃粘带	耐热、耐寒和防潮性能较高	可用做 H 级电动机线圈绝缘
硅橡胶玻璃粘带	耐热、耐寒和防潮性能较高	可用做 H 级电动机同线圈绝缘
自粘性硅橡胶三角粘带	具有耐热、耐潮、抗振动耐化学腐蚀的特性，但扩张强度较低	可用做特殊电动机对地绝缘

1.1.18　电动机绝缘漆

绝缘漆是一种特殊的漆，如图 1-29 所示。它里面含有油料、树脂、颜料、填料和溶剂等。为了达到电动机绝缘的要求，电动机绝缘漆的膜层结构不同于一般油漆，它的电阻系数大，导热性能好，并且有坚固的机械性能和良好的抗潮性。正因为漆包线的电阻系数大，所以它的绝缘性能好。



图1-29 绝缘漆

绝缘漆一般可分为浸渍漆和覆盖漆两大类。

绝缘漆的品种很多，使用时，应根据电器绝缘等级及耐潮、耐油等性能，选用相应牌号的绝缘漆。电工常用绝缘漆的型号、特性及用途如表 1-4 所示。

表 1-4 电工常用绝缘漆名称、特性及用途

名 称	性 能	用 途
水乳漆	耐湿性能好、干燥快、无毒	适用于潮湿环境电工器材快速干燥绝缘
醇酸青漆	有较好耐油及耐弧性能	适用于绕组浸漆及覆盖
环氧聚酯快干无溶剂漆	固化快，挥发性少，但耐霉性较差	适用于绕组滴浸
环氧无溶剂漆	黏度低、储存稳定性好	适用于高压电动机整体浸渍
无溶剂漆	耐潮、介电性好，固化快，机械强度高	适用于浸渍转子绕组
聚酰胺酰亚胺浸渍漆	耐热性及电气性能好，耐辐射性好	适用于高温工作的电动机线圈浸渍
聚酯改性有机硅漆	粘接力较长，耐湿性和电气性能好	适用于潮湿环境工作的绕组浸渍
有机硅浸渍漆	① 耐热、耐油、防霉性能好 ② 耐热、耐油、且在常温下迅速干燥 ③ 耐热良好，但烘干温度较高	① 适用于高温电动机、电器线圈浸渍 ② 适用于电器线圈局部补修 ③ 适用于高湿电动机绕组浸渍

续表

名　　称	性　　能	用　　途
低温干燥有机硅漆	耐热性能较 1053 稍差，干燥快	适用于高湿电动机绕组浸渍
黑绝缘漆	耐潮，但耐油性能较差	用于一般电动机绕组表面修饰
环氧聚酯红瓷漆	漆膜光滑，强度高，色泽鲜艳，具有较高的介电性能	适用于出口电动机，电器绕组或线圈表面修饰
环氧聚酯灰瓷漆		
环氧酯铁红瓷漆	耐潮、耐霉、耐油性好，漆膜硬度高	适用于湿热带地区电动机、电器线圈表面修饰
环氧酯瓷漆	干燥快、耐潮、耐油、耐气候性好，漆膜附着力好，有弹性	适用于电动机绕组表面修饰
醇酸漆		
醇酸灰瓷漆		
有机硅红瓷漆	漆膜耐热性好，并具有较好的电气性能	适用于覆盖 H 级电动机、电器线圈和绝缘零部件表面修饰

1.2　电烙铁

1.2.1　电烙铁分类

电烙铁是手工施焊的主要工具，它是用电来加热电阻丝或 PTC 加热元件，并将热量传送给烙铁头来实现焊接的。电烙铁是用来焊锡的，为方便使用，锡焊通常做成“焊锡丝”，焊锡丝内一般都含有助焊的松香。焊锡丝使用约 60%的锡和 40%的铅合成，熔点较低。松香是一种助焊剂，它可以直接用，也可以配置成松香溶液。

电烙铁的种类很多，根据其功能及加热方式分类一般有以下几种。

1．根据电烙铁的功能分类

从电烙铁的功能分，有恒温式、调温式、双温式、带吸锡功能式及无

绳式等。

（1）恒温式

恒温式电烙铁种类较多，烙铁芯子一般采用 PTC 元件（如图 1-30 所示）。这类电烙铁的烙铁头不仅能恒温，而且可以防静电、防感应电，能直接焊 CMOS 器件。

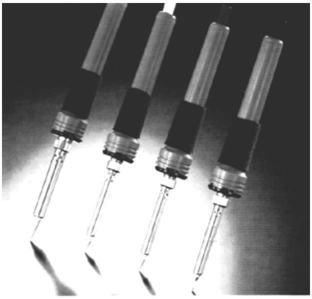


图1-30 恒温式电烙铁

高档的恒温电烙铁，其附加的控制装置上带有烙铁头温度数显装置，显示温度最高达 400℃。烙铁头带有温度传感器，在控制器上可由人工改变焊接时的温度。若改变恒温点，烙铁头很快就能达到新的设置温度。

（2）调温式

调温式电烙铁如图 1-31 所示，它附加有一个功率控制器，使用时可以改变供电的输入功率，可调温度范围为 100℃～400℃。调温电烙铁的功率最大是 60W，配用的烙铁头为长寿头。

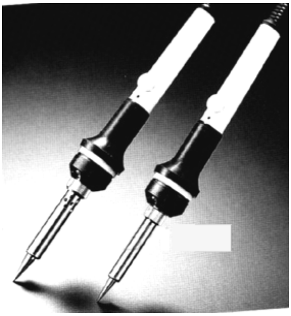


图1-31 调温式电烙铁

（3）双温式

如图 1-32 所示为双温式电烙铁的外形图。双温式电烙铁为手枪式结构，在烙铁手把上附有一个功率转换开关。开关分两位：一位是 20W；另一位是 80W。只要扳动转换开关的位置即可改变烙铁的发热量。



图1-32　双温式电烙铁外形图

（4）带吸锡功能式

如图 1-33 所示为吸锡式电烙铁的外形图。带吸锡功能式电烙铁自带电源，适合于拆卸整个集成电路，且速度要求不高的场合。其吸锡嘴、发热管、密封圈所用的材料，决定了烙铁头的耐用性。



图1-33　吸锡式电烙铁的外形图

（5）无绳式

如图 1-34 所示为无绳式电烙铁的外形图。无绳式电烙铁是一种新型恒温式焊接工具，它是由无绳电烙铁单元和红外线恒温焊台单元两部分组成，可实现 220V 电源电能转换为热能的无线传输。烙铁单元组件中有温度高低调节旋钮，在 160℃～400℃连续可调，并有温度高、低挡格指示。另外，还设计了自动恒温电子电路，可根据用户设置的使用温度自动恒温，误差范围±3℃。



图1-34　无绳式电烙铁

2．根据电烙铁的加热方式分类

从加热方式分，有直热式、燃气式等。

（1）直热式

一般的电烙铁都是直热式。直热式又分为内热式和外热式两种：内热式电烙铁的发热元件安装在烙铁头里面；外热式电烙铁的发热元件安装在烙铁头外面。内热式电烙铁体积较小，且发热快、耗电省，一般电子制作都用 15W、20W、25W、30W、50W 等几种规格的内热式电烙铁。

普通的内热式烙铁，其烙铁头的温度是不能改变的，要想提高烙铁头的温度，只有更换大功率的电烙铁。

（2）燃气式

如图 1-35 所示为燃气式电烙铁的外形图。燃气式电烙铁又称自热烙

铁，它是利用丁烷气体燃烧产生的热量加热烙铁头来进行焊接的，还能用热风来熔塑料、紧缩热缩套管及喷火加热器等。此类型的烙铁头由纯铜做基体，经镀铁、镀铬及镀锡多层镀层加工而成，切不可用锉刀打磨或改变其形状。



图1-35　燃气式电烙铁的外形图

燃气式电烙铁的结构如图 1-36 所示，主要由储丁烷液化气罐 1、火焰调节钮 2、开关 3、压电点火按钮 4、套筒 5 及烙铁头 6 等组成。从储气罐高速喷出由液化丁烷产生的丁烷气，点火后产生火焰，再通过加热多陶瓷基体来加热烙热火。调节火焰的大小可控制温度，使温度在 200℃～500℃之间。

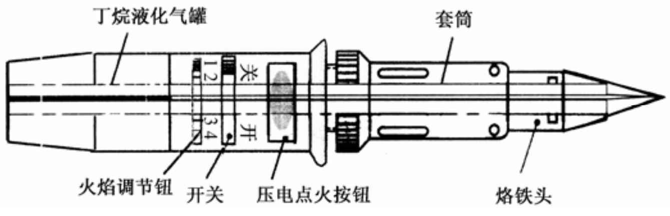


图1-36　燃气式电烙铁的结构

1.2.2　电烙铁的使用

电烙铁是电器维修不可缺少的工具之一，常用的电烙铁有内热式和外

热式两种类型。焊接电路使用电烙铁的功率可根据焊接对象选择，当焊接集成电路时，可选用内热式 20W 电烙铁；当焊接电子管或体积较大的元器件时，应选用功率较大的外热式电烙铁。

电烙铁使用前，要用万用表电阻挡 R×1k 挡检查一下插头之间的电阻值，阻值大约在 2～3kΩ之间。再用万用表电阻挡 R×1k 挡检查一下插头与金属外壳之间的电阻值，万用表指针应该不动，否则应该彻底检查。电器维修中，使用电烙铁应掌握以下使用技巧。

1．用小烙铁焊大件

当用小烙铁焊大件时，可点燃一支蜡烛或酒精灯，根据实际情况加热被焊件或烙铁头，使焊点温度提高，从而使焊接温度迅速提高，且焊点光滑牢固。

2．用电烙铁焊接贴片分立元件

焊接贴片元件一般采用 30W 以下的电烙铁即可，具体的焊接方法如下：

（1）拆卸元件

如果周围的元件不多，可用烙铁在元件的两端各加热 2～3s 后快速在元件两端来回移动，同时握烙铁的手稍用力提向一边轻推，即可拆下元件。

如果周围的元件较密，可用左手持尖嘴镊子轻夹元件中部，用电烙铁充分熔化一端的锡后快速移至元件的另一端，同时左手凭感觉向上稍用力提，这样当一端的锡充分熔化尚未凝固而另一端也已熔化时，左手的镊子即可将其拆下。

（2）安装元件

安装新元件之前应确保焊盘清洁，先在焊盘的一端上锡（上锡盖不可过多），再将元件用镊子夹住先焊焊盘上锡的一端，接着焊另一端。然后用镊子固定元件，并在元件两端上适量的锡加以修整。

3．用电烙铁焊接贴片IC

（1）拆卸贴片 IC

用小刀平贴 IC 引脚顶部，在元件的一边引脚上加足够多的锡，使之

形成一个锡柱，待其冷却后再用同样的方法连接另三边引脚，使四道锡柱连成一方框围住 IC。然后，用烙铁在锡柱上加热，使锡柱变成液态状即可用镊子将 IC 轻轻取出。

（2）安装贴片 IC

贴片 IC 引脚与焊盘吻合后，先焊边上的四个脚固定 IC。从任一边开始上足够的锡使烙铁头与 IC 及焊盘处的锡成一球状，左手持小刀贴住 IC 脚顶部帮助散热，右手慢慢向后拖。四边完成后，引脚如有短路现象可多放松香于该处，烙铁在其附近拖动即可吸去多余的锡。

1.2.3　使用电烙铁的焊接技能

在电器维修与制作中，必然会遇到电路和元器件的焊接，焊接的质量对维修与制作的质量影响极大。所以，学习电器维修和电子制作技术，必须掌握焊接技术。

1．焊前处理

焊接前，应对元件引脚或电路板的焊接部位进行焊接处理，一般有“刮”、“镀”、“测”三个步骤。

（1）刮

“刮”就是在焊接前做好焊接部位的清洁工作，一般采用的工具是小刀和细砂纸。对于集成电路的引脚，焊前一般不做清洁处理，但应保证引脚清洁。对于自制的印制电路板，应首先用细砂纸将铜箔表面擦亮，并清理印制电路板上的污垢，再涂上松香酒精液、助焊剂或“HP-1”，此时才可使用。对于镀金或银的合金引出线，不能把镀层刮掉，可用精橡皮擦去表面脏物。

（2）镀

“镀”就是在刮净的元器件部位上“镀锡”，具体做法是：蘸松香酒精溶液涂在刮净的元器件部位上，再将带锡的热烙铁头压在该部位上，并转动元器件，使其均匀地镀上一层很薄的锡层。如果是多股金属丝的导线，打光后应先拧在一起，然后再镀锡。

“刮”完的元器件引线上应立即涂上少量的助焊剂，然后用电烙铁在

引线上镀一层很薄的锡层，避免其表面重新氧化，以提高元器件的可焊性。

（3）测

“测”就是在“镀”之后，利用万用表检测所有镀锡的元器件是否质量可靠，如果有质量不可靠或已损坏的元件，应用同规格元件更换。

2．焊接技能

做好焊前处理之后，就可正式进行焊接。

（1）焊接方法

不同的焊接对象所需要的电烙铁工作温度也不相同。在判断烙铁头的温度时，可将电烙铁碰触松香，如果烙铁碰到松香时，有刺刺的声音，则说明温度合适；如果没有声音，仅能使松香勉强熔化，则说明温度偏低；如果烙铁头一碰上松香，就冒烟过多，则说明温度太高。

一般来讲，焊接的步骤主要有三步：① 烙铁头上先熔化少量的焊锡和松香，将烙铁头和焊锡丝同时对准焊点；② 在烙铁头上的焊剂尚未挥发完时，将烙铁头和焊锡丝同时接触焊点，开始熔化焊锡；③ 当焊锡浸润整个焊点后，再同时移开烙铁头和焊锡丝。

焊接过程的时间一般以 2～3s 为宜，焊接集成电路时，焊料和焊剂在量上要严格控制。为了避免因电烙铁绝缘不良或内部发热器对外壳感应电压损坏集成电路，实际应用中常采用拔下电烙铁的电源插头趁热焊接的方法。

（2）焊接质量

焊接时，应保证每个焊点焊接牢固、接触良好；锡点应光亮，圆滑而无毛刺，锡量适中。锡和被焊物融合牢固，不应有虚焊和假焊。虚焊是焊点处只有少量锡焊住，造成接触不良，时通时断。假焊是指表面上好像焊住了，但实际上并没有焊上，有时用手一拔，引线就可以从焊点中拔出。

（3）焊接材料

对于不易焊接的材料，应采用“先镀后焊”的方法。例如，对于不易焊接的铝质零件，可先给铝质零件表面镀上一层铜或者银，然后再进行焊接。具体做法是：先用一些 $CuSO_4$（硫酸铜）或 $AgNO_3$（硝酸银）加水配制成 20%左右的溶液；再把吸有饱和溶液的棉球置于用细砂纸打磨光滑的

铝件上面，也可将铝件直接浸于溶液中。由于溶液里的铜离子或银离子与铝发生置换反应，大约 20min 左右，在铝件表面便会析出一层薄薄的金属铜或者银。用海绵将铝件上的溶液吸干净，置于灯下烘烤直至表面完全干燥。完成以上镀层后，在其上涂上有松香的酒精溶液，便可直接焊接。

提示：该法同样适用于铁件及某些不易焊接的合金。注意溶液用后应盖好置于阴凉处保存。溶液随着使用次数的增加而浓度会不断下降，应重新配制。溶液具有一定的腐蚀性，应尽量避免与皮肤或其他物品接触。

1.2.4 电烙铁的维护与保养

如果烙铁头上有杂质，可将一小块海绵用水浸透后放入一小铁盒内，再将工作中的烙铁头在海绵上轻快地正反拉几下，烙铁头就会光亮如新。

如果烙铁头氧化，可用钢丝清洗球放在烙铁架盒内，将工作中的烙铁头往清洗球内扎几下，便可清除烙铁头的氧化物。另外，可手握电烙铁手柄，将氧化的烙铁头浸入盛有酒精的容器中，经 1～2min 后取出，氧化物就彻底干净地除掉了。

1.3 热风拆焊器

1.3.1 常用的热风拆焊器

热风拆焊器（又称热风枪）是一种贴片元件和贴片集成电路的拆焊、焊接工具，最早的热风拆焊器依赖于国外进口。近几年，随着我国移动通信的迅猛发展，一些国产的热风拆焊器也迅速进入移动通信维修工具市场。

热风拆焊器主要由气泵、线性电路板、气流稳定器、外壳、手柄等组件组成。性能较好的热风拆焊器采用原装气泵，具有噪声小、气流稳定等特点。手柄组件采用消除静电材料制成，可以有效地防止静电干扰。下面以几款常用的机型为例进行说明。

1．850A热风拆焊器

850A 热风拆焊器的外形如图 1-37 所示，它适用于表面贴装元件的拆焊，如 SOIC、CHIP、QFP、PLCC、BGA 等。



图1-37 850A热风拆焊器的外形

（1）产品特点

① 非接触焊点的锡焊方式，可免除零件位移及热冲击。

② 采用进口发热体，喷嘴和发热体与国际品牌相同。

③ 能大幅度调节空气量及温度，适用于表面贴装元件的拆焊，如 SOIC、CHIP、QFP、PLCC、BGA 等，也可用于收缩热缩套管。

（2）技术参数

850A 的技术参数如表 1-5 所示。

表 1-5 850A 的技术参数

型　　号	850A
电源电压	220V AC
功率消耗	270W
气泵形式	膜片式
泵功率	45W
气流	0.3～24L/min
发热体	50W 金属发热体
热气温度	100℃～480℃

2．850 热风拆焊器

850 热风焊台是根据电子技术的发展和广大从事电子产品研究、生产、维修人员的需求，开发研制生产的一种高效实用的多功能产品。它采用微风加热除锡的原理，能快捷干静地拆卸焊接各类封装器件。

850 热风焊台如图 1-38 所示。该产品外形设计实用大方，操作灵活，性能稳定，能轻松地拆装各种贴片式和直插元器件，大大缩短拆装的时间，提高工作效率，并能保证多次拆装元器件 PCB 板不受损伤。目前它已广泛应用于电子科研，是电工电子维修人员必不可少的专用工具。



图1-38　850热风焊台

1）产品特点

① 瞬间可拆下各类器件，包括分立、双列及表面贴装，使维修不再为拆卸器件不便而烦恼。

② 风头不用接触线路板，使您的线路板免受损伤。

③ 所拆线路板过孔及器件引脚干净无锡（所拆处如同新板），以方便再次使用。

④ 热风的温度及风量可调节，以应付各类电路板。

⑤ 采用进口风泵及发热芯，保证系统的长寿命。

⑥ 采用高质量的元器件和精密加工工艺，使产品质量稳定可靠，故障率低。

⑦ 一机多用，热风加热，拆焊多种直插、贴片元器件，以及热缩管

处理，热能测试等多种需要热能应用的场合。

2）性能指标

电源：AC220V±20V50/60HZ

热风泵功率：45W

气泵形式：膜片式

热风风量：0～24L/min

热风加热器功率：250W

风嘴温度：100℃～420℃连续恒温调整

3）使用说明

（1）安装通电

打开包装，取出主机，拆下机身底部的红螺钉。接通 220V 电源，打开电源开关“POWER”，系统即可开始工作。需注意的是，第一次使用热风吸锡拆焊枪可能会冒白烟，属正常现象。

（2）热风头使用

电源开关打开后，根据需要选择不同的风嘴和吸锡针，并将热风温度调节钮“HEATER”调至适当的温度，同时根据需要再调节热风风量调节钮“AIRCAPACITY”调到所需的风量，待预热温度达到所调温度时即可使用。

如果短时不用热风头，应将热风风量钮“AIRCAPACITY”调到最小、热风温度调节钮“HEATER”调到中间位置，使加热器处在保温状态，再使用时调节热风风量钮和热风温度钮即可。

注意：针对不同封装的集成电路，应更换不同型号的专用风嘴；针对不同焊点大小，选择不同温度、风量及风嘴距板的距离。

（3）拆卸技巧

① 直插元件的拆卸。

综上所述，使热风部分正常工作，根据焊盘大小换上合适的风嘴和吸锡针（已配附件），加热即可。根据不同的线路基板材料和不同的焊盘，选择合适的温度和风量。本方法适合多种单、双面板及各种大小不同的焊点。

② 贴片元件的拆卸。

根据不同的线路基板材料选择合适的温度及风量，使风嘴对准贴片元件的引脚，反复均匀加热，待达到一定温度后，用镊子稍加力量使其自然脱离基板。

③ 贴片元件的焊装。

在已拆贴片元件的位置上涂上一层助焊剂，然后把焊盘整平，用热风把助焊剂吹匀，对准位置，放好贴片元件，用焊锡定位。在贴片元件应该焊接的地方，全部堆上焊锡（堆锡法），然后再按上述方法除去多余的焊锡，用电烙铁稍加整形即可。

4）注意事项

① 使用前，应将机箱下面最中央的红色螺钉拆下来，否则会引起严重的问题。

② 使用前，必须接好地线，以备泄放静电。

③ 禁止在焊铁前端网孔放入金属导体，否则会导致发热体损坏及人体触电。

④ 在热风焊枪内部，装有过热自动保护开关，枪嘴过热时保护开关动作，机器停止工作。必须把风量钮（AIRCAPACITY）调到最大，延迟 2min 左右，加热器才能工作，机器恢复正常。

⑤ 使用后，要注意冷却机身：关电后，发热管会自动短暂喷出冷风，在此冷却阶段，不要拔去电源插头。

⑥ 不使用时，请把手柄放在支架上，以防意外。

1.3.2　热风拆焊器焊接技巧

1．正确使用热风焊接方法

热风枪、热风焊台的喷嘴可按设定温度对 IC 等吹出不同温度的热风，以完成焊接。喷嘴的气流出口设计在喷嘴的上方，口径大小可调，不会对 BGA 器件邻近的元器件造成热损伤。使用热风焊接时，应注意以下两点：

（1）BGA 器件在起拔前，所有焊球均应完全熔化，如果有一部分焊

球未完全熔化，起拔时容易损坏这些焊球连接的焊盘。同理，在焊接 BGA 器件时，如果有一部分焊球未完全熔化，也会导致焊接不良。

（2）喷嘴内部边缘与 BGA 器件之间的间隙至少应有 1mm 间隙，为防止印制电路板单面受热变形，可先对印制电路板反面预热，温度一般控制在 150℃～160℃。

2．焊接温度的调节方法

热风焊台最佳焊接参数实际是焊接面温度、焊接时间和热风焊台的热风风量三者的最佳组合。焊接温度可分三个区，即预热区、中温区及高温区。

（1）预热区

预热的目的是为了加速焊锡熔化和防止印制电路板单面受热变形，对于面积较大的印制电路板，预热更重要。常用 1.5mm 厚小尺寸印制电路板，可将温度设定在 150℃～160℃，时间在 90s 以内。

（2）中温区

印制电路板底部预热温度可以和预热区相同或略高于预热温度，喷嘴温度要高于预热区温度、低于高温区温度，时间一般在 60s 左右。

（3）高温区

喷嘴的温度在高温区达到峰值，温度应高于焊锡的熔点，但最好不超过 200℃。

除正确选择各区的加热温度和时间外，还应注意升温速度。一般在 100℃以下时，升温速度最大不超过 6℃/s，100℃以上最大升温速度不超过 3℃/s；在冷却区，最大的冷却速度不超过 6℃/s。

1.4 吸锡器

1.4.1 常用吸锡器

维修拆卸零件少不了使用吸锡器，尤其是大规模集成电路，更加难拆，拆不好容易破坏线路板，造成不必要的损失。简单的吸锡器是手动式的，

且大部分是塑料制品，它的头部由于会常常接触高温，因通常都采用耐热塑料。

吸锡器在使用一段时间后必须经常清理，否则内部活动部分或头部会被焊锡卡住。清理方式随着吸锡器的不同而不同，不过大部分都是将吸锡头拆下来，再分别清理。

常见吸锡器外形如图 1-39 所示。



图1-39　吸锡器外形

1.4.2　吸锡器的使用

胶柄手动吸锡器里面有一个弹簧，使用时先把吸锡器末端的滑杆压入，直至听到“喀”地一声，则表明吸锡器已完成固定。再用烙铁对接点加热，使接点上的焊锡融化；同时将吸锡器靠近接点，按下吸锡器上面的按钮即可将焊锡吸上。如果一次未吸干净，可重复上述步骤。

1.5　其他工具

1.5.1　手摇绕线机

手摇绕线机的外形如图 1-40 所示，主要有单速和双速两种。小型电动

机的线圈一般都采用圆铜（铝）导线，其线圈尺寸不大，且导线较细，可以直接在手摇绕线机上进行绕制。



图1-40　手摇绕线机的外形图

使用手摇绕线机绕制线圈时，一般不用紧线夹，操作时要注意用手将导线拉紧、拉直，做到层次平整。

1.5.2　划线板

划线板又称副板，一般采用硬质竹片、塑料或有机玻璃制成，外形如图 1-41 所示。划线板的主要作用是：分开槽口的绝缘纸、理齐堆积在槽口的导线、方便后续导线的入槽。



图1-41　划线板外形图

划线板的大小可根据电动机的定子铁芯槽口大小随意制作。厚度要适当，以划线板头部深入到槽内 2/3 处为宜，并用砂纸打磨光滑，以免划线时破坏导线的绝缘层。

1.5.3　清槽片

清槽片又称刻槽片，如图 1-42 所示。可用断钢锯片制作，在手握的一端绑上木板或缠绕布条即可。

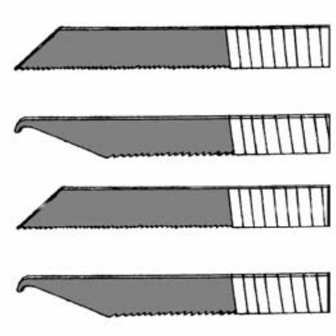


图1-42　清槽片外形图

清槽片的作用是：清除铁芯槽内的残留绝缘物、绣斑等杂物，修整换向器的云母片。

1.5.4　通针

通针又称撑棒，如图 1-43 所示。用 8 号钢丝制成。制作时将头部锉成楔状，为了便于操作，在尾部再弯个圆圈。

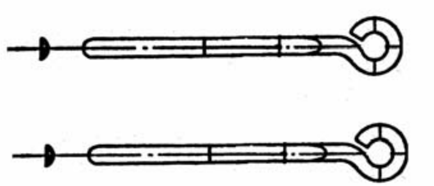


图1-43　通针外形图

通针的作用是将槽绝缘折合、封口，将槽内导线压紧，便于插入槽楔。

1.5.5 拉具

拉具又称拉钩，一般由球墨铁浇铸或中碳钢材锻打而成，主要有两爪式和三爪式，其外形如图 1-44 所示。拉具是拆卸皮带轮、联轴器和滚动轴承的专用工具。



图1-44 拉具外形图

使用时，应摆正拉具，丝杆对准电动机轴的中心，扳动丝杆时用力要均匀。

1.5.6 压线板

压线板外形如图 1-45 所示。用优质钢材制成。其作用是用来压线及折复绝缘纸。根据电动机槽形尺寸不同，应备有多把压线板。其压脚宽度为槽上部宽度减去 0.6～0.7mm，脊部为槽口宽度的 1／3～1／2，长度一般为 45cm 左右。



图1-45 压线板外形图

压线板应打磨光滑，无死角，以免使用时刮伤导线的绝缘层。

1.5.7　黏度计

黏度计是利用测试绝缘漆滴漏时间的长短来测量绝缘漆黏度的计量用具。用黄铜或紫铜制造，有效容积为 100ml，其形状如图 1-46 所示。



图1-46　黏度计外形图

使用黏度计时，应注意以下几点：

（1）测量绝缘漆黏度时，室温和所测漆温均应保持为 20℃。在黏度计下放一只容器。

（2）用手堵住漏嘴，黏度计中倒满绝缘漆，然后松开手指，让漆从漏嘴中流出，当漆面下降至一定液面时开始计时，一直到黏度计中的漆流完，所得时间即为绝缘漆在 20℃时的黏度。

第 2 章　常用仪表篇

2.1　万用表

2.1.1　万用表简介

万用表是万用电表的简称，它是电子电工维修制作中必备的测试工具。一般的万用表可以测量直流电流、直流电压、交流电压、电阻等。有些万用表还可测量电容、电感、功率、音频电平、晶体管及其共射极直流放大系数 h_{FE} 等。

万用表表头的灵敏度，是指表头指针由 0 刻度偏转到满刻度时，动圈中通过的电流值。一般万用表中均不直接标明表头的灵敏度为多少微安，而用其满刻度指示时测试电流的倒数Ω / V 来表示。Ω / V 愈大表明表头满刻度电流值愈小，表头灵敏度愈高。满刻度时电流的大小对电子电路测量准确度至关重要。

万用表的量程，是指仪表最小到最大的测量范围，半导体器件的发展使万用表电压、电流量程范围更大，最低电压量程有 2.5V 挡位，最小电流量程有 25～50μA 挡位，一般万用表交、直流电压最高量程为 500V，特殊型号可达 2.5kV，实际上 2.5kV 的高压手持表笔极不安全，测量高压时最好另配高压绝缘测试棒，万用表电流挡最大可达 5A。

万用表的基本原理，是利用一只灵敏的磁电式直流电流表做表头，当微小电流通过表头时，就会有电流指示。但表头不能通过大电流，所以，必须在表头上并联或串联一些电阻进行分流或降压。

许多万用表采用英文标识，表 2-1 为万用表常用英文的含义。

表 2-1　万用表常用英文的含义

<table>
<tr><th>外文字母/句子</th><th>含义</th><th>量程符号</th><th>量　　程</th><th>用　　途</th><th>备　　注</th></tr>
<tr><td rowspan="2">DC</td><td rowspan="2">直流</td><td>DCV</td><td>直流电压</td><td>测量直流电压</td><td>用 $\underline{V}$ 或 V-表示</td></tr>
<tr><td>DCA</td><td>直流电流</td><td>测量直流电流</td><td>用 $\underline{A}$ 或 A-表示</td></tr>
<tr><td rowspan="2">AC</td><td rowspan="2">交流</td><td>ACV</td><td>交流电压</td><td>测量交流电压</td><td>用＃或 V～表示</td></tr>
<tr><td>ACA</td><td>交流电流</td><td>测量交流电流</td><td>用＃或 A～表示</td></tr>
<tr><td>OHM
（OHMS）</td><td>欧姆</td><td>OHM
（OHMS）</td><td>欧姆</td><td>测量元件电阻值</td><td>用Ω或 R 表示</td></tr>
<tr><td>BATT</td><td>电池</td><td>BATT</td><td colspan="2">检验表内电池电压或电量</td><td rowspan="3">不是所有的万用表均有此功能</td></tr>
<tr><td>GOOD</td><td>好</td><td colspan="3" rowspan="2">是 BATT 量程的刻度标示。如指针指示在 GOOD 标示范围之内，表明表内电池电量充足；如指针指示在 BAD 标示范围之内，表明电池电量不足，应更换</td></tr>
<tr><td>BAD</td><td>坏</td></tr>
<tr><td>ADJ</td><td>调节、校准</td><td>一般标在零位调节旋钮旁边</td><td></td><td>用来调节准确度</td><td></td></tr>
<tr><td>OFF</td><td>关机</td><td>OFF</td><td>关机</td><td colspan="2">当量程开关拨至 OFF 时，表头线圈短路，增大阻尼，可防止表针振动而损坏表头</td></tr>
<tr><td>MODEL</td><td>型号</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">万用表的型号</td></tr>
<tr><td>h_{FE}</td><td colspan="3">晶体三极管直流电流放大倍数测量插孔与挡位</td><td colspan="2">用来测量三极管</td></tr>
<tr><td colspan="3">DIOOE PROTECTION</td><td>测量机构保护</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="3">MADE IN CHINA</td><td>中国制造</td><td colspan="2">标明万用表的出品</td></tr>
</table>

万用表一般可分为指针式万用表和数字式万用表两种。指针式万用表具有结构简单、读数方便、用途广泛等特点，其表头采用磁电式微安表，表头灵敏度通常为 10～1000μA。灵敏度高的表头易于做成电压灵敏度高、功率大的万用表。

数字式万用表是在一个基本量程的直流数字电压表的基础上扩展而成的，这个基本量程的电压表相当于数字式万用表的“表头”。从数字式万用表面板上看，通常有液晶显示屏、量程转换开关与若干个测试插孔。液晶显示屏直接以数字形式显示测量结果，并且还能自动显示被测数值的

单位和符号。一般液晶显示位数有 $3\frac{1}{2}$ 位和 $4\frac{1}{2}$ 位两种。所谓 $3\frac{1}{2}$ 位最多可同时出现 4 个数字，最前面的一个数字只能是“0”或“1”。

2.1.2　MF47 型指针式万用表

在电器维修中，指针式万用表大多采用 MF47 型万用表，故以 MF47 型万用表为例进行介绍。

MF47 型万用表是一种常用的多量限仪表。它具有 26 个基本量程和 7 个附加量程，且具有晶体二极管限幅的动圈保护电路装置，如图 2-1 所示为其外形图。

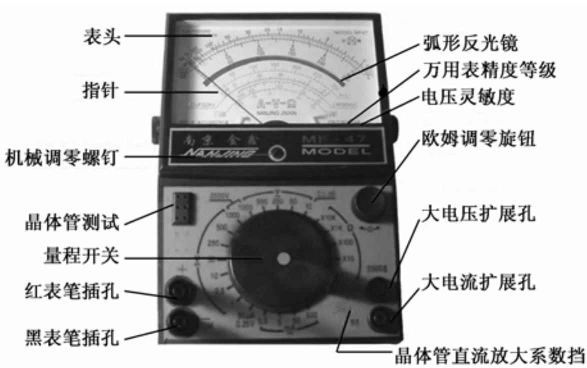


图2-1　MF47型万用表外形图

1．MF47 型指针式万用表的结构及面板介绍

指针式万用表的形式很多，但基本结构是类似的。指针式万用表的结构主要由表头、转换开关（又称选择开关）、测量线路三部分组成。表头采用高灵敏度的磁电式机构，是测量显示装置；万用表的表头实际上是一个灵敏电流计。表头上的表盘印有多种符号、刻度线和数值。符号 A—V—Ω表示该万用表可以测量电流、电压和电阻，表盘上印有多条刻度线，其中右端标有“Ω”的是电阻刻度线，其右端为零，左端为∞（无穷大），刻度值分布是不均匀的。符号“－”或“DC”表示直流，“～”

或“AC”表示交流，“$\underline{\sim}$”表示交流和直流共用的刻度线，L（H）50Hz 表示电感刻度线，C（μF）50Hz 表示电容刻度线，–dB 和+dB 表示音频电平刻度线。每一条刻度线下的数字是与选择开关的不同挡位相对应的刻度值。

表盘上还有一些表示表头参数的符号，其含义如下：

①“20kΩ/–V”（电压灵敏度表示法，即直流 1V 量程、内阻为 20kΩ）、“4kΩ/～V”（即交流 1V 量程、内阻为 4kΩ）等，内阻越大，测量电压的精度就越高。

②“ADJ 与 h_{FE}”，这两挡是为测量晶体管静态直流放大系数设置的。“ADJ”挡是“校准”挡，“h_{FE}”挡是“测量”挡。校准时先把“选择开关”对准“ADJ”挡，然后将红、黑表笔短接，调节欧姆电位器，使指针对准 h_{FE} 最大（300h_{FE}）刻度线上，校准完成。然后把“选择开关”放至“h_{FE}”挡，即可进行测量。

③“C.L.dB”，电容、电感和音频电平测量挡。

④“←Ω→”，“机械零位”调整旋钮，用以校正指针在左端指零位。

⑤“N P”，测量 NPN 型晶体三极管插孔和测量 PNP 型晶体三极管插孔，其上分别有 c、b、e 和 e、b、c 三个孔，分别插 NPN 型管的 cbe 极和 PNP 型管的 ebc 极。

⑥“+、COM”，表示正、负插孔，使用时应将红色表笔插入标有“+”号的插孔中，黑色表笔插入标有“COM”号的插孔中。

⑦“2500V、5A”，分别表示 2500V 交直流电压扩展插孔和 5A 的直流电流扩展插孔。使用时分别将红表笔移至对应插孔中即可扩展到相应的量程。

⑧ 转换开关对应的数字，“转换开关”用来选择被测量的种类和量程（或倍率）：万用表的“选择开关”是一个多挡位的旋转开关，用来选择测量项目和量程（或倍率）。万用表测量项目包括：“$\underline{\text{mA}}$”（直流电流）、“$\underline{\text{V}}$”（直流电压）、“V～”（交流电压）、“Ω”（电阻）。每个测量项目又划分为几个不同的量程（或倍率）以供选择。例如，当转换开关拨到直流电流挡，可分别与 5 个接触点接通，用于 500mA、50mA、5mA 、0.5mA 和 50μA 量程的直流电流测量。同样，当转换开关拨到欧姆挡，可用×1、

×10、×100、×1kΩ、×10kΩ倍率分别测量电阻；当转换开关拨到直流电压挡，可用于 1V、2.5V、10V、50V、250V、500V 和 1000V 量程的直流电压测量；当转换开关拨到交流电压挡，可用于 10V、50V、250V、500V、1000V 量程的交流电压测量。表头指针所指示的示数乘以所选的倍率值即为所测值。例如，选用 R×100 挡测量电阻，如果指针指示到 50，则被测电阻值为：50×100=5000Ω=5kΩ。

⑨ $\overset{2.5}{\vee}$表示该万用表的精度等级为 2.5 级，它是用标度尺长度百分数的分子表示的精度，万用表的精度等级一般在 1.0～2.5 之间。根据国家标准 GB776—76 的规定，电工仪表的精度等级分为七级。其中，2.5 表示引用误差为±2.5%。

2．MF47 型万用表的使用

万用表可以用来测量各种直流、交流电压、电阻、电感、电容的大小。下面主要介绍用万用表测量直流电压、交流电压、电阻的方法及测量时的注意事项。

（1）测量直流电压

MF47 型万用表的直流电压挡主要有 1V、2.5V、10V、50V、250V、500V、1000V、2500V 八挡。测量直流电压时首先估计一下被测直流电压的大小，再将转换开关拨至适当的电压量程，黑表棒接被测量电压“–”端（即低电位端），将红表棒接被测电压“+”端（即高电位端）。然后根据所选量程与标有“$\underset{-}{\mathrm{V}}$”的刻度线上的指针所指数字，来读出被测电压的大小。其读数方法是：

① 找到所读电压刻度尺。表盘第三条刻度线下方有“$\underset{-}{\mathrm{V}}$”符号，表明该刻度线可用来读直流电压。

② 选择合适的标度尺。在该刻度线的下方有三个不同的标度尺，0-50-100-150-200-250、0-10-20-30-40-50、0-2-4-6-8-10。至于读哪一条刻度线，应根据选用的量程选择合适的标度尺，例如，选用 0.25V、2.5V、250V 量程可选用 0-50-100-150-200-250 这一标度尺来读数；选用 1V、10V、1000V 量程可选用 0-2-4-6-8-10 标度尺来读数；选用 50V、500V 量程可选用 0-10-20-30-40-50 这一标度尺来读数。也就是说，量程与刻度尺成倍数

关系，这样读数比较方便。

③ 确定最小刻度单位。根据所选用的标度尺来确定最小刻度单位。例如，用 0-50-100-150-200-250 标度尺时，每一小格代表 5 个单位；用 0-10-20-30-40-50 标度尺时，每一小格代表 1 个单位；用 0-2-4-6-8-10 标度尺时，每一小格代表 0.2 个单位，应根据大格数和小格数进行读数。

④ 读数时，视线应正对指针，即看见指针实物与弧形反光镜中的像重合时即可读数。读出电压值的大小应根据示数大小及所选量程读出所测电压值的大小。例如，所选量程是 2.5V，示数是 140（用 0-50-100-150-200-250 标度尺读数），则该所测电压值为 140/250×2.5 =1.4V。

⑤ 如果被测直流电压大于1000V，则可将1000V挡扩展为2500V挡 。其方法是：将转换开关置 1000V 量程，将红表笔从原来的“+”插孔中取出，插入标有 2500V 的插孔中后，即可测量 2500V 以下的高电压。

（2）测量交流电压

测量交流电压的方法与测量直流电压的方法类似。MF47 型万用表的交流电压挡有 10V、50V、250V、500V、1000V、2500V 六挡。与测量直流电压的不同之处就是“转换开关”要放在交流电压挡处以及红、黑表笔搭接时不需再分正、负极。

（3）测量电流

测量电流也是万用表的常用功能，MF47 型万用表只可以测量直流电流，而不能测量交流电流。测量直流电流的步骤如下：

① 测量准备。

先进行机械调零和欧姆调零。其方法是：用小螺丝刀旋动定位螺钉，使指针指在左端“电流零”刻度处，即“机械调零”。将红、黑表笔分别插入“+”、“−”插孔，将量程选择开关置于欧姆表“×1”挡。在表笔短接时调整欧姆挡的调零旋钮使指针指在右端“电阻零”刻度处，即“欧姆调零”。如果欧姆调零不能到位时，则应更换表内电池（一般经常使用的万用表不需每次都进行机械调零）。再选择量程，根据待测电路中电源的电流大致估计一下被测直流电流的大小选择量程，或直接选用最高电流挡，逐渐换用低电流挡，直到找到合适的电流挡。电流挡不像电压挡，应特别

注意“最大电流”，一旦超过量程，就会损坏万用表。

② 测量步骤。

将万用表串联在被测电路中。其方法是：先断开被测电路 ，将万用表红、黑表笔串接在被断开的两点之间；红表笔要接在被测电路的电流流入端，黑表笔接在被测电路的电流流出端。特别注意：电流表不能并联接在被测电路中，否则，极易烧坏万用表。

测量直流电流的读数方法与测量直流电压的读数方法类似，所选择的表盘刻度线也同测电压的刻度线一样，即第三道刻度线的右边有“mA”符号的线，读数方法同测电压相同。如果测量的电流大于 500mA 时，可选用 5A 挡。其操作方法：将“转换开关”置 500mA 挡量程，红表笔从原来的“+”插孔中取出，插入万用表右下角标有 5A 的插孔中即可测 5A 以下的大电流。

③ 注意事项。

首先，测量直流电流时，万用表与被测电路的之间的连接必须是串联关系；其次，不能带电测量，测量中人手不能碰到表棒的金属部分，以免触电。

（4）测量电阻

测量电阻是万用表的常用功能。其方法是：先进行“机械调零”和“欧姆调零”，再将“转换开关”调到电阻挡，将电阻两端与两表笔接触，根据读数选择合适的挡位，使读数接近该挡位的 1/2，最好不要使用刻度盘左边 1/3 的部分，因为这部分刻度太密，准确度较差；然后查看指针在第一条刻度线上的读数，即右边标有“Ω”的刻度线，读取指示值，最后将指示值乘以量程挡的“倍率”即是所测电阻值。例如，用 R×100 挡测量某电阻，指针指示为“10”，那么它的电阻值为 10×100=1000，即 1kΩ。

测量电阻应注意以下几点：

① 使用前要调零；不能带电测量电阻；被测电阻不能有并联支路。

② 万用表不能测出太低的电阻值。当电阻较低时，需要用探针法、电桥法测量电阻。

③ 测量晶体管、电解电容等有极性元件的等效电阻时，必须注意两

支表笔的极性。

④ 用万用表不同倍率的欧姆挡测量非线性元件的等效电阻时，测出的电阻值一般是不相同的。这是因为各挡位的中值电阻和满度电流各不相同；正常情况下，倍率越小，测量出的阻值就越小。

3. 指针式万用表使用注意事项

（1）万用表必须水平放置，以免造成误差；并注意避免外界磁场对万用表的影响。在使用万用表之前，应先进行机械调零和欧姆调零。

（2）在使用万用表过程中，不能用手去接触表笔和被测电路或元器件的金属部分。

（3）在测量过程中不能同时换挡，尤其是在测量高电压或大电流时，更应注意。否则，会损坏万用表。

（4）万用表使用完毕，应将转换开关置于交流电压的最大挡。如果长期不使用，应将万用表内部的电池取出来，以免电池腐蚀表内的其他器件。

2.1.3　DT9205A数字式万用表

目前采用的数字式万用表型号较多，下面以 DT9205A 数字式万用表为例进行介绍。数字式万用表是把连续的被测模拟电参量自动变成断续的，用数字编码方式、以十进制数字自动显示测量结果的一种电子测量仪表。它把电子技术、计算机技术和自动化技术的成果与精密电测量技术密切地结合在一起，成为仪器仪表领域中的一种新型仪表。数字式万用表具有输入阻抗高、误差小、读数直观等优点。

DT9205A 数字式万用表是一种操作方便、读数精确、功能齐全、使用电池作电源的手持袖珍式大屏幕液晶显示数字多功能表。可以用来测量电压、电流、电阻、电容、逻辑电平、晶体二极管正向压降、晶体管 h_{FE} 等参数。图 2-2 为其外形图。

1．数字式万用表的特点

数字式万用表与指针式万用表相比，具有以下特点：

① 采用大规模集成电路，提高了测量精度，减少了测量误差。

② 以数字方式在屏幕上显示测量值，使读数变得更加直观、准确。



图2-2　DT9205A数字式万用表外形图

③ 增设了快速熔断器和过压、过流保护装置，使过载能力进一步增强，不容易烧坏。

④ 具有防磁场干扰能力，能在强磁场中使用。

⑤ 具有自动调零、极性显示、超量程显示及低压指示功能，操作起来比较简单，没有烦琐的调零程序。

2．数字式万用表的使用

数字式万用表的使用方法比较简单，不同的数字式万用表，其使用方法不尽相同。使用前，应认真阅读有关的使用说明书，熟悉电源开关、量程开关、插孔、特殊插口的作用。使用时，先开启电源开关，将黑表笔插入“COM”插孔，红表笔插入“VΩ”插孔或其相应的插孔，将量程旋钮转到相应的挡位，即可进行测量。以下介绍其使用方法：

（1）短路测量

将“量程开关”调到标有晶体二极管符号的挡位上，将红、黑表笔接

在要检查的线路两端。若电阻小于 50Ω，则万用表发出声音。同时，该挡也可用来进行通/断测试。

（2）电阻的测量

将黑表笔插入“COM”插孔，红表笔插入“VΩ”插孔，数字表的“红表笔”极性为“正极”（即表内电流流出端），“黑表笔”为“负极”（表内电流流入端），与指针式万用表正好相反（黑表笔为表内电流流出端，红表笔为表内电流流入端），将功能开关置于所需量程上，将测试笔跨接在被测电阻上。当输入开路时，会显示过量程状态“1”，如果被测电阻超过所用量程，也会指示出过量程状态“1”，提示操作者要用高挡量程。在合适的量程下即可显示数值。注意，读数时应等到显示数不再跳变时再读，但被测电阻在 1MΩ以上时，需数秒后才能稳定读数，对于高电阻的测量，这是正常的。

在实际应用中经常用到 R+、R−等参数项，对于此参数项，应首先确定是采用哪一种万用表测试的。对于指针式万用表，R+表示用黑表笔接被测对象；对于数字式万用表，则表示用红表笔接被测对象。

用数字式万用表检测在线电阻时，须确认被测电路已关掉电源，同时已放完电，方能进行测量。当采用 200MΩ量程进行测量时，即使将两表笔短接，其读数不为 0，而为 1.0，这是正常现象，此读数是该表一个固定的偏移值，即误差值。如被测电阻阻值为 150MΩ时，读数为 151.0，正确的阻值是用“显示”减去 1.0，即 151.0−1.0=150MΩ。

（3）交、直流电压的测量

根据需要将量程开关拨至 DCV（直流）或 ACV（交流）的合适量程，红表笔插入“VΩ”孔，黑表笔插入“COM”孔，并将表笔与被测电路并联，读数即可显示。

（4）交、直流电压的测量

将黑表笔插入“COM”插孔，红表笔插入“VΩ”插孔。测量直流电压时，将功能开关置于“DCV”（直流电压）量程，测量交流电压时则应置于“ACV”（交流电压）量程，并将测试表笔并联到被测端。在显示电压读数时，同时会指示出红表笔所接电源的极性。如果显示屏显示“1”，表示过量程，应将量程开关置于更高的量程。

（5）晶体二极管的测量

数字式万用表设置了专用的晶体二极管测试挡，测量晶体二极管时，把转换开关调到有晶体二极管符号所指示的挡位上。红表笔接正极，黑表笔接负极。对于硅晶体二极管来说，应有 0.40～0.80V 的数字显示；对于锗晶体二极管来说，则有 0.20～0.30V 的数字显示。若把红表笔接负极，黑表笔接正极，表的读数应为“1”。

（6）电容的测量

数字式万用表设置了专用的电容插孔“CX”，测量电容时，把“转换开关”调到被测电容容值的量程范围，将电容插入“CX”插孔，不用表笔，屏幕上会直接显示电容的电容值。若不显示或显示异常，则说明被测电容不良。例如，测量 2E373J 电容的电容值，将量程开关旋到 200n 挡，将电容插入“CX”插孔内，此时显示屏将显示电容值，如图 2-3 所示。



图2-3　用数字式万用表测量电容

（7）测量 h_{FE}

数字式万用表设置了专用的晶体管 h_{FE} 测试插孔，测量 h_{FE} 时，把转换开关调到 h_{FE}。不用表笔，在弄清楚被测管的极性和引脚顺序后，将被测晶体三极管插入相应的插孔内，屏幕上会直接显示 h_{FE} 值。如测量 A931 的 h_{FE} 值，将该管插入 PNP 插座中的 B、C、E 插孔内，显示屏即直接显示 h_{FE} 的大小，如图 2-4 所示。



图2-4　测量晶体三极管的h_{FE}值

3．注意事项

（1）要根据测试项目选择插孔或转换开关的位置，由于实际使用时测量电压、电流或电阻等交替地进行，一定不要忘记换挡。

（2）注意检查数字式万用表电池的电量，将数字式万用表的电源开关按下，如果电池不足，则显示屏左上方会出现电池符号，此时应更换表内电池。

（3）数字式万用表表笔插孔旁有“△”符号，这是警告操作者要留意测试电压和电流不要超出范围。

（4）对于数字式万用表来说，切不可用测量电阻、电流的挡位测量电压！如果用直流电流或电阻挡去误测交流 220V 电源，则万用表会立刻烧毁。

（5）数字式万用表红、黑两根表笔的位置不能接反、接错，否则，会带来测试错误或判断失误。当误用交流电压挡去测量直流电压，或者误用直流电压挡去测量交流电压时，显示屏将显示“000”，或低位上的数字出现跳动现象。

2.1.4　万用表的日常维护与保养

（1）万用表使用完毕后，应将量程转换开关置于最高电压挡；如果万用表没有空挡，应将量程转换开关置于最高电压挡；如果万用表设有空

挡（“*”或“OFF”），则应调到此挡，该挡能将表头短路，起到阻尼和防振的作用。

（2）万用表不用时，不要旋在电阻挡，因为表内有电池，如不小心易使两根表棒相碰短路，不仅耗费电池，严重时甚至会损坏表头。

（3）拨动量程开关时用力要适度，避免造成开关金属片的损坏。使用完毕，量程开关最好置于高电压挡。

（4）数字万用表要防潮，若受潮后数字会变得模糊不清。

（5）仪表结构精密，灰尘会影响元件的性能，一般不要在灰尘弥漫的场所使用，使用完毕后最好加盖或放进包装盒内。

（6）避免强烈的冲击和振动，以便仪表内的零件松动甚至损坏。

（7）数字式万用表一般不怕磁，但在强磁场中使用仍会失灵，甚至测不出数据。

（8）仪表应避免在含酸、碱、盐的空气中使用，以免造成机内金属部件腐蚀，而形成各种故障隐患。

（9）应在 15℃～60℃允许的温度范围内使用，若温度超出使用范围，屏幕的液晶态可能变化，即使以后温度回到允许使用范围，液晶屏也不能恢复正常状态。

（10）液晶显示屏应避免划伤，不宜阳光直射，因为在紫外线照射下液晶内会发生化学反应。

（11）万用表应定期校准。校准时应选用同类或精度更高的数字仪表，按先校直流挡，然后校交流挡，最后校电容挡的顺序进行。

（12）万用表不使用时，应断开电源。长期不用时，应取出电池单独存放，以免电池酸液流出而腐蚀机内零件。

2.2 钳形电流表

2.2.1 钳形电流表简介

钳形电流表是一种用于测量正在运行的电气线路中电流参数的仪表，在电工中广泛应用。它携带方便，无须断开电源和线路即可直接测量运行

中电气设备的工作电流，以便及时了解设备的工作状况。

常见的钳形电流表的外形如图 2-5 所示。



图2-5　钳形电流表的外形

2.2.2　钳形电流表的使用

1．钳形电流表的常规检测

钳形电流表准确度较低，通常为 2.5 级或 5 级。使用钳形电流表时应注意以下几点：

（1）测量前应先估计被测电流的大小，选择合适的量程。若无法估计则应先用较大量程进行测量，然后根据被测电流的大小再逐步换成合适的量程。

（2）测量时被测载流导线应放在钳口内的中心位置，以免增大误差。

（3）为使读数准确，钳口的结合面应保持良好的接触，如有噪声，应将钳口重新开合一次，若噪声依然存在，应检查钳口处有无污垢存在，如有可用汽油擦干净。

（4）测量较小电流时，为了使读数较准确，在条件许可时，可将被测

导线多绕几圈，再放进钳口中进行测量，实际电流值等于仪表的读数除以放进钳口中的导线圈数。

（5）测量完毕，一定要把仪表的量程开关置于最大量程位置上，以防下次使用时，因疏忽大意未选择量程就进行测量造成仪表损坏。

2．钳形电流表的特殊应用

钳形电流表除通常用于测量交流电流外，还可用于许多特殊场合，特别适合于电工的日常使用。

（1）判别三相电路的相别

对于三相三线电路（假设为 A、B、C 三相），首先分别测出 A、C 相电流，其值应相等或相近。然后再测量 A、C 两相电流的矢量和（既有大小又有方向的量相加），若等于或接近 A、C 相之值，说明被测两相为同相；若等于或近似于 A、C 两相的 3 倍，则被测两相为异相。

对于三相四线电路，首先分别测出 A、B、C 相电流，其值应相等或相近。然后再测量中线电流，若其值为零，则说明被测三相极性正确；若其值为 2 倍或近似 2 倍于 A、B、C 各相之值，则表明被测三相中有一相或两相极性反接。

（2）检查晶闸管及硅整流元件

在三相电路中每只晶闸管或硅整流元件的正极（或负极）接线上测量，根据电流读数的有无及大小即可判断该元件是否正常。若钳形电流表的读数为零，则说明该元件未工作，应检查晶闸管、整流元件及触发电路有无问题；若三相电流严重不平衡，则可能是触发电路不良或整流装置的交流部分异常。

2.3 兆欧表

2.3.1 兆欧表简介

在电器维修及供电线路的检修中，人们除了对中阻、低阻的测量外，还会遇到高电阻的测量，这就要用到兆欧表。它是专门用于绝缘电阻测量

的指示仪表，其标尺刻度直接用兆欧（MΩ）作为单位。兆欧表又称“摇表”，在电气电路中往往现场已切断供电，测量仪表就必须借用仪器本身的电源，而且有些规程还规定了绝缘检查时应施加的电压。一般来讲，兆欧表主要可分为两大类：一类采用手摇发电动机供电（目前已很少应用）；另一类采用电池供电。其中，采用电池供电的兆欧表又可区分为指针式和数字式。

1．采用手摇发电动机供电的兆欧表

磁电式兆欧表主要由磁电式仪表和手摇发电动机两部分组成。如图 2-6 所示为其实物图。手摇发电动机是兆欧表的能源部分，其作用是提供测量所需的直流电压。磁电式兆欧表的测量机构通常是根据流比计的原理制造的。在永久磁铁的均匀磁场中，装有两个平面互相垂直的线圈，它们固定在一个共同的转轴上，可以随轴转动。当有电流通过这两个线圈时，在磁场的作用下两线圈分别产生两个方向相反的力矩，一个起转动作用，一个起制动作用。当两个力矩大小相等、方向相反时，线圈停止偏转。根据上述原理，可制造出永磁式流比计。



图2-6　磁电式兆欧表实物图

在磁电式兆欧表中，电流是经过没有弹性的金属线引入线圈的，当线

圈中没有电流时，即没有反作用的力矩，所以仪表的指针可以停留在标尺的任何位置，而不一定回到零点。该仪表一般有三个接线端子，即火线端子、地线端子和保护端子。其中，火线端子由电流线圈经过限流电阻引出，使用时火线与被测物的导体接通；地线端子从手摇发电机的正极引出，使用时地线与被测物的外壳接通；保护端子从手摇发电机的负极引出，使用时与被测物的保护遮蔽环或其他应避免进行测量的部分接通，以消除表面泄漏误差。

由于使用场所不同，磁电式兆欧表分为 0～500MΩ、0～1000MΩ、0～2500MΩ等几种。

2．采用电池供电的兆欧表

（1）指针式

指针式兆欧表具有体积小、重量轻、操作简捷，且绝缘电阻值分度线均匀清晰等特点。适用于测量各种电气设备、变压器、电动机、开关、电缆及绝缘材料的绝缘电阻。一般采用 9V 或 12V 叠层电池供电，有的还具有电池容量检查功能，并提供了三个额定绝缘测试电压，还可作为交流电压表使用。下面以 KD2676D 型兆欧表为例进行介绍，其外形如图 2-7 所示。



图2-7　KD2676D型兆欧表外形图

其面板功能键如图 2-8 所示。图中，1 为高压开关按钮，2 为机械零位调节钮，3 为低量程指示灯，4 为高量程指示灯，5 为电源指示灯，6 为地

线端子，7 为保护端子，8 为火线端子，9 为电压指示灯，10 为表盘，11 为选择开关，12 为电池盒（背面）。



图2-8　KD2676D的面板功能键

（2）数字式

数字式兆欧表一般采用 LCD 数字显示，体积小、重量轻、操作简便，适用于各种电气设备的保养、维修、试验及检定中作绝缘测试。下面以采用电池供电的 2671P 型数字式兆欧表为例进行介绍，其外形如图 2-9 所示。



图2-9　采用电池供电的2671P型数字式兆欧表

其面板功能键如图 2-10 所示。图中 1 为测试按钮、2 为高压指示、3 为液晶显示屏、4 为欠压指示、5 为地线端子、6 为保护端子、7 为火线端子、8 为量程转换开关、9 为功能选择开关、10 为电池盒（背面）。



图2-10　2671P的面板功能键

2.3.2　兆欧表的使用

1．兆欧表的正确使用方法

兆欧表在工作时，自身产生高电压，而测量对象又是电气设备，所以必须正确使用，否则就会造成人身或设备事故。以下介绍兆欧表的使用注意事项，供用户使用时参考。

（1）采用手摇发电机供电的兆欧表

① 禁止在雷电时或高压设备附近测量绝缘电阻，且不能用兆欧表测量带电设备的绝缘电阻，否则将损伤被测物或兆欧表。

② 兆欧表使用时应放在平稳、牢固的地方，且远离大的外电流导体和外磁场。

③ 正确选用合适量程的表进行测量，当测量高电压设备的绝缘电阻时应选用高电压兆欧表；反之，应采用低电压的兆欧表。

④ 兆欧表上一般有三个接线柱，分别标有字母 L（线路）、E（接地）和 G（屏蔽）；L 接在被测物和大地绝缘的导体部分，E 接在被测物的外壳

或大地上，G 接在被测物的屏蔽环上。

⑤ 兆欧表的外接连线应选用绝缘良好的单根导线，不宜采用双股导线，也不要将外接连线绞在一起。

⑥ 使用兆欧表时，应先检查仪表本身是否漏电。其具体方法是：检查“地线（E）”、“火线（L）”两端短接和开路时指针是否指“0”和“∞”；测量时，均匀地摇发电动机手柄，一般要求 120r/min 左右，待稳定后读数。

⑦ 进行测量时，摇手柄的转速应由慢至快，应达到并稳定在 100～140r/min，待表针或数字稳定时再读数，此时读数才为正确。

⑧ 当被测物体为电容性负载时，兆欧表测得读数之后，不宜立即停止摇柄的转动，而应该一边逐渐降速，一边去掉“火线”端的接线，以避免摇表手柄立即停止转动后，因电容性负载放电而损坏兆欧表。另外，电容性负载在测量之前，应放掉剩余的电荷，以达到不带电操作的目的。

⑨ 测试电气设备的绝缘电阻时，应记下测量时的温度、湿度等环境条件状态，以便对测量结果进行分析。

⑩ 摇表未停止转动之前或被测设备未放电之前，严禁用手触及。拆线时，也不要触及引线的金属部分。

⑪ 测量完毕后，待表内电动机停止转动后再拆线，并将被测对象就地放电。

（2）采用电池供电的兆欧表

使用该类型的兆欧表时，应注意以下事项：

① 确认被测物安全接地，且被测物不带电。

② 确认仪表 E 端（接地端）已接地。

③ 测试完毕，请及时关闭高压和工作电源。

另外，应经常保持外表清洁，必要时可用干净布擦拭。仪表长期不用时，必须将电池取出以免锈蚀仪器，且仪表不得受潮、雨淋、暴晒或跌落等。

④ 读数完毕，首先按下开关按钮关断高压，高压指示熄灭。再将功能选择开关置于“开”挡，关闭电源。对容性负载，还应将被测件上的残余电荷泄放完毕，再拆下测试线，以免电击伤人。

⑤ 测量高绝缘电阻时，应在被测物的两个测量端之间的表面上套一导体保护环，并将该导体保护环用一测试线连接到仪表的保护端子，以消除被测物表面泄漏电流引起的测量误差，以使测试准确。

2. 兆欧表的基本操作方法

1）采用手摇发电动机供电的兆欧表

（1）校表

① 先校“零”点。

将“火线”、“地线”短接，慢慢摇动手柄，若发现表针立即指在“零”点处，则立即停止摇动手柄，说明表是好的，表的“零”点读数是正确的。

② 校“满刻度（无穷大）”。

将“火线”、“地线”分开放置后，先慢后快逐步加速摇动手柄，待表的读数在“无穷大”处稳定指示时，即可停止摇动手柄，说明表的“满刻度”无异常。

经过以上检测，证实表没问题，即可进行测量。

（2）测试

测量绝缘电阻时，一般只用“火线”L 端和“地线”E 端，但在测量电缆对地的绝缘电阻或被测设备的漏电流较严重时，就要使用“保护”G 端，并将 G 端接屏蔽层或外壳。线路接好后，可按顺时针方向转动摇把，摇动的速度应由慢到快，当转速达到 120r/min 左右时，保持匀速转动，1min 后读数，并且要边摇边读数，不能停下来读数。

2）采用电池供电的兆欧表

（1）零位校准

功能选择开关置“开”位置，调节机械零位调节钮使仪表指针校准到标度尺的“∞”分度线上。

（2）测试

首先，将仪表“地线”“E”端接被测物的接“地”端，“火线”“L”端接被测物的线路端；再将功能选择开关置所需的额定电压位（双电压机型将选择开关置所需的额定电压位，单电压机型将选择开关置所需的测量量程位），表盘左上角的电源指示点亮（若为数字式兆欧表，则显示屏首位显示“1”），表示工作电源接通。接着，按一下高压开关按钮，高压指示点亮，指针在相应测试电压的刻度及相应量程上指示被测物的绝缘电阻值。

对于数字式兆欧表，被测物的绝缘电阻值直接从显示屏上显示出来。若被测物的绝缘电阻值超过仪表量程的上限值，显示屏首位将显示“1”，后三位“熄灭”。

3）电池检查及更换

对于指针式兆欧表，应将选择开关置于“BATT.CHECK”位置，当指针指在表盘右下方带箭头的标度“BATT.GOOD”区域内时，则表示电池正常，否则需更换电池。

对于数字式兆欧表，仪表在接通电源工作时，若显示屏显示欠压符号，则表示电池电量不足，应及时更换新电池。

3．兆欧表的应用技能

兆欧表又称绝缘电阻测试器，常用的有 5050 型、1010 型；输出电压从 100～2500V 多种。兆欧表除作为测量绝缘电阻的专用仪表外，还有如下用途：

1）判别日光灯管的优劣

将兆欧表输出端接灯管两端灯丝，摇表转速由慢到快，使电压慢慢升高，灯管启辉。再用万用表 DC 500V 挡测出灯管启辉电压，启辉电压越低越好。若灯管电压加得再高也不启辉，则表明该灯管已严重老化。

2）测量晶体管、晶闸管的工作电压

首先按图 2-11 接线，再均匀地摇动兆欧表，同时观察万用表指针的读数。随着兆欧表手柄的转动，万用表指针便慢慢地上升，当上升到一定数值固定不动时，即为被测器件的工作电压。

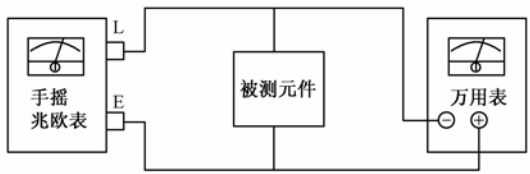


图2-11　测量晶体管、晶闸管接线图

3）测量电气设备的“漏电点”

利用兆欧表的保护环（G），可找出电气设备的“漏电点”。当电动机某绕组的绝缘电阻低于规定值或其他绕组相比阻值明显偏低时，要查明原因，就可利用兆欧表的“G”柱查找故障点。先将“G”端钮接于悬空绕组上，由于此时被测绕组与非被测绕组电位相同，它们之间没有电流流过，故测得的只是被测绕组对“地”的绝缘电平。反复测试，即将“G”端钮接于地端，将“E”端钮接于非被测绕组，此时测得的绝缘电阻是被测绕组与非被测绕组之间的绝缘电阻值。通过这样的测量可查出“漏电点”。

4）判断耐压在 450V 以下大电解电容的漏电电阻及容量

用红色鳄鱼夹夹住电解电容的正极，黑色夹子夹住电容的负极，用万用表的直流电压挡监测电压，然后摇动“摇表”对电容充电。一般来说，容量大的电容充电速度要慢，据此就可估计其容量。当充电达到其额定工作电压后将电容从“摇表”上取下，继续用万用表监测放电速度；如果容量相同，则放电快的漏电就大。实践证明，漏电比较大的电容和已被击穿的电容不能充到额定工作电压，即使个别电容器能充到额定电压，其放电速度也比正常电容放电快得多。

2.4　转轴转速表

转速表是一种测量转轴旋转速度的专用仪表，有数字式转速表和离心式转速表两种。图 2-12 为数字式转速表的实物图。



图2-12　数字式转速表的实物图

2.4.1　数字式转速表

数字式转速表主要由检测头、液晶显示器及内部大规模集成电路组成。测量时，在被测转轴的表面贴一窄条反光纸，将数字式转速表的检测头对准被测的转轴。按下电源开关，由检测头发射出的光线经反光红外线反射后，再由检测头内的传感器接头接收，最后由显示器读出稳定显示的转速值。

使用时，若液晶显示屏显示的数字字符暗淡、时有时无或显示“＜0”时，则表明转速表内的电池电压不足，应更换电池。数字式转速表不能长期直接受紫外线的辐射，否则会使显示屏加速老化。

2.4.2　离心式转速表

离心式转速表是一种多量程的机械式仪表，它主要由机芯、变速器和指示器三个部分组成。

使用转速表进行测量时，应根据被测轴的转速选用调速盘的挡位。若不知被测轴的转速，可先将调速盘调至最高挡，再向低速挡逐

挡试测。

值得指出的是：在测试过程中不能进行换挡操作，否则会损坏仪表内部机构。

2.5 电能表

电能表又称电度表。图 2-13 为其实物图。它是用来测量某一段时间内所消耗的电能的仪表。主要分为机械式电能表和 IC 卡式电能表两种。同一类电能表的品牌和型号千差万别，但其结构、原理是一样的，大多是采用电磁感应原理制成的。



（a）机械式电能表　（b）IC卡式电能表

图2-13　电能表实物图

2.5.1 机械电能表工作原理

机械电能表的工作原理：当把电能表接入被测电路时，电流线圈和电压线圈中就有交变电流流过，这两个交变电流分别在它们的铁芯中产生交变磁通；交变磁通穿过铝盘，在铝盘中感应出涡流；涡流又在磁场中受到力的作用，从而使铝盘得到转矩而转动。

负载消耗的功率越大，通过电流线圈的电流越大，铝盘中感应出的涡流也越大，使铝盘转动的力矩就越大，即转矩的大小与负载消耗的功率成正比。功率越大，转矩就越大，铝盘转动也就越快。

铝盘转动时，又受到永久磁铁产生的制动力矩的作用，制动力矩与主

动力矩方向相反；制动力矩的大小与铝盘的转速成正比，铝盘转动得越快，制动力矩也越大。当主动力矩与制动力矩达到暂时平衡时，铝盘将匀速转动。负载所消耗的电能与铝盘的转数成正比。铝盘转动时，带动计数器，把所消耗的电能指示出来。这就是机械式电能表的工作原理。

2.5.2　IC卡式电能表工作原理

IC 卡式电能表主要由基表、主控单片机芯片、数码显示、继电器开关、专用模块和 IC 卡接口组成，由以上部件组成测量和单片机处理两个系统。其工作原理是：由分压器完成电压取样，由取样电阻完成电流取样，取样后的电压电流信号由乘法器转换为功率信号，经变换后，推动计数器工作，并将脉冲信号输入单片机系统。

IC 卡插入电表后，算出电量，控制表内继电器的工作状态，当表内电量用完后，继电器将自动切断供电回路。

2.6　漏电检测仪

2.6.1　漏电检测仪简介

漏电检测仪的种类很多，图 2-14 为常用的钳型漏电检测仪实物图。此类检漏仪大多采用磁性平衡方式，不干扰被测试线路，且测试精度与被测线路导线的位置无关。



图2-14　漏电检测仪

此类漏电检测仪的分辨率极高，一般可达到交流 10μA，测量导线的线径可达 30mm 左右，采用多组 AC 电流挡，如 40mA、400mA、4A、40A、100A 等，适用于一般维修电工使用。

2.6.2 漏电检测仪的使用

漏电检测仪的使用方法也比较简单。测量交流电路时只需同时钳住火线和零线，即可测知电路或终端负载的漏电状况。测量直流电路则同时钳住正、负两线，即可测知电路或终端负载的漏电状况；有的漏电检测仪还可以测量微弱的直流电流，甚至在交流、直流混合（重叠）的线路中，还可以分别测试两种电流的单独电流量。有些漏电检测仪还可以输出直流信号，可与配套记录仪作长期的漏电记录，以反映电流的变化情况，采用液晶显示屏直读测量数据，并可以保持数据。

第 3 章　电力电子器件篇

3.1　电力电容器

电力电容器是电工经常遇到的一种电力元件。电力电容器（如图 3-1 所示）是一种静止的无功补偿设备。它的主要作用是：向电力系统提供无功功率，提高功率因数。采用就地补偿，可以减少输电线路输送电流，减少线路能量损耗和降压，改善电能质量和提高设备利用率。因此，电力电容器必须正确使用，并采取适当的保护措施。



图3-1　电力电容器

3.1.1　电力电容器的正确使用

（1）电力电容器的接通和断开

接通和断开电容器组时，必须考虑以下几点：

① 电力电容器在接通前应用兆欧表检测放电网络。

② 当汇流排（母线）上的电压超过 1.1 倍额定电压最大允许值时，不允许将电容器组接入电网。

③ 电容器组从电网断开后再重装接入时，其间隔时间必须大于 1min，但自动重复接入除外。

④ 在接通和断开电容器组时，应选用不能产生危险过电压的断路器，且断路器的额定电流不应低于 1.3 倍电容器组的额定电流。

（2）电力电容器的放电

电力电容器每次从电网中断开后，应该自动进行放电。不论电容器的额定电压是多少，在电容器从电网中断开 30s 后，其端电压应在 65V 以下。放电的方式有两种：

① 自动放电。自动放电装置装在电容器断路器的负荷侧，并经常与电容器直接并联（中间不允许装设断路器、隔离开关和熔断器等）。具有非专用放电装置的电容器组，例如，对于高压电容器用的电压互感器，对于低压电容器用的白炽灯泡，以及与电动机直接连接的电容器组，可以不另设放电装置。使用灯泡时，可将多个灯泡串联起来，以延长灯泡使用寿命。

② 人工放电。在接触从电网断开的电容器的导电部分之前，用绝缘的接地金属杆，短接电容器的出线端，使电容器放电。

3.1.2 电力电容器的保护

1. 电力电容器的保护措施

在电力系统中，对电力电容器的保护措施通常有以下 5 种。

（1）继电器保护

采用平衡或差动继电器保护或采用瞬时作用过流继电器保护，较为普遍，效果也很好。但对 3.15kV 及以上的电容器，必须在每个电容器上装置单独的熔断器，熔断器的额定电流应按熔丝的特性和接通的涌流来选定，一般为 1.5 倍电容器的额定电流为宜，以防止电容器的油箱爆炸。

（2）限压保护

对于电压经常或长时间升高的情况，应采取一定的措施进行限压，使

电压升高不得超过 1.1 倍的额定电压。

（3）限流保护

采用电流自动开关限流，使电流升高不得超过 1.3 倍额定电流。

（4）防过电压

当电力电容器与架空线连接时，可采用适合的避雷器来进行大气过电压保护。

（5）单相短路保护

在高压网络中，当短路电流超过 20A 时，并且短路电流的保护装置或熔丝不能可靠保护时，应采用单相短路装置来进行保护。

2．保护装置应具备的技术性能

保护装置必须具备以下技术性能，才能确保电力电容器的安全可靠运行。

① 灵敏度高。不管是电容器组中单个电容器内部发生故障，还是部分元件损坏，保护装置都能可靠地动作。

② 无误动作。在电容器停、送电过程中及电力系统发生接地或其他故障时，保护装置不会发生误动作。

③ 便于检查。能够在选择地切除故障电容器，或在电容器组电源全部断开后，便于查出已损坏的电容器。

④ 使用方便。保护装置应便于安装、调整、试验和维护。

⑤ 保护装置应该耗电量少，运行费用低。

3.1.3　电力电容器的维护

运行中的电力电容器需进行的维护项目如下：

（1）对运行中的电力电容器应有专人值班，经常对电容器组的外观进行观察检查，并做好运行情况记录，如发现箱壳膨胀应立即停止使用，以免发生爆炸事故。

（2）电力电容器组投入使用时环境温度不能低于−40℃，运行时环境温度升高 1h 平均不得超过+40℃，2h 平均不得超过+30℃，一年平均不得超过+20℃。当超过时，应采用风扇冷却或将电容器组与电网断开。

（3）电力电容器安装地点的温度检查和电容器外壳上最热点温度的检测，可使用水银温度计进行；电容器组每相负荷的检测，可使用安倍表进行。各种检测都应做好记录。

（4）电力电容器的工作电压不得超过额定电压的 1.1 倍，电流不超过额定电流的 1.3 倍。

（5）在接入电力电容器时，应注意观察电网电压的变化情况。若电网电压升高，应根据电压升高的情况，将部分电容器或全部电容器从电网中断开。

（6）电力电容器运行一段时间后，应进行电压试验，并注意按照规定值进行试验。

（7）由于继电器动作而使电容器组的断路器跳开时，不要马上重合，应先查清跳开的原因并予排除后，再重新合上。

（8）经常保持电容器外壳清洁，电容器和铁架刀上面不应有灰尘和脏东西。

（9）定期对电容器和熔丝进行检查。一般每月检查一次，每年对电容器测量 2～3 次，每次测量都应在额定电压下进行。

（10）经常对电容器组电气线路上的所有接触处（如汇流排、接地线、断路器、熔断器、开关等）进行观察检查，防止这些部位接触不良而导致电容器早期损坏。

3.1.4　电力电容器的常见故障及处理方法

（1）电容器的断路器跳闸

断路器跳闸，应检查分路熔断器的熔丝是否熔断。若未熔断，先对电容器放电 3min，再检查断路器、电流互感器、电力电缆及电容器外部有无异常变化；若无异常，再对电容器做全面的通电试验。若通过以上检查、试验均不能查找出故障原因，则可能电容器组内部存在故障。可拆开电容器组，对各个电容器逐一检测，即可找到故障点。

（2）电容器熔断器的熔丝熔断

当电容器熔断器的熔丝熔断时，值班人员应将情况及时向调度室汇报，由调度室安排检修。检修时，应断开电容器的断路器，切断电源并对

电容器放电。放电之后，先检查外壳是否变形、漏油、接地装置有无短路等现象。然后用摇表检测极间及极对地的绝缘电阻值是否正常。若以上均正常，可更换熔断器的熔丝，再继续投入运行。

（3）电容器喷油、爆炸

电容器在运行中发生喷油、爆炸事故，一般是由于系统内、外过电压或电容器内存在严重故障引起的。故障发生时，应立即断开电源，用干式灭火器或沙子灭火。灭火后，再进行检查。

提示：维修电容器时，对于双星形接线的电容器组的中性线，以及多个电容器的串接线，除采用正常放电外，还应单独进行放电。

3.2　短路接地线

3.2.1　短路接地线简介

短路接地线，是为了防止停电设备突然来电或邻近带电设备对停电设备产生感应电压而设置的接地线。通过短路接地线将设备继电后的剩余电荷因接地而放尽。接地线是保证工作人员人身安全的生命线，装拆接地线的操作是电气操作中危险性较大的操作，一旦发生事故，影响大、后果严重。短路接地线由多股铜线绞织而成，它的截面一般不应小于 25mm^2。接地棒埋入地下的深度不应少于 0.6m，如图 3-2 所示。



图3-2　短路接地线

3.2.2　短路接地线的维护与保养

（1）每组接地线在使用过程中不得扭花，不用时应将软铜线盘好，存

放在干燥的室内。

（2）接地线在使用之前应检查以下部位：

① 软铜线是否断头；

② 螺钉连接处是否松动；

③ 软铜线是否存在裸露现象。

（3）接地线不得随地乱摔，注意清洁工作，预防泥沙、脏物进入接地装置的孔隙之中，以免影响接地线的的使用和更换。

（4）接地线在拆除之后，不得从空中丢下，以便下次能正常使用。

（5）接地线应定期进行检查，影响正常使用的部件应及时更换。

3.3　电刷和刷握

3.3.1　电刷和刷握简介

电刷和刷握是电工在维修电动机和发电动机时常遇到的电气器件。电刷主要由石墨或金属石墨制成，其外形如图 3-3 所示。

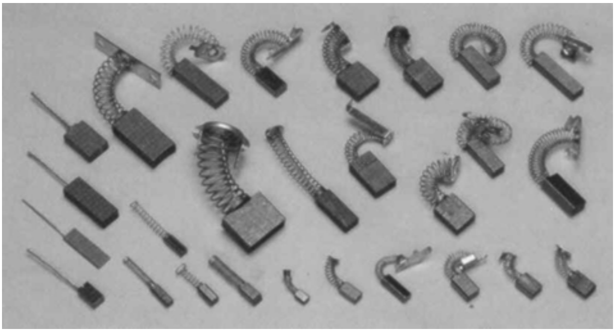


图3-3　电刷外形图

刷握，是盛装并固定电刷的槽，其外形如图 3-4 所示。

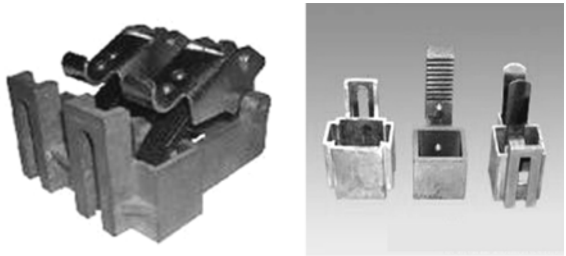


图3-4　刷握外形图

3.3.2　电刷和刷握的调整

电刷安放在刷握内用压紧弹簧以一定的压力装配在换向器的表面，电动机或发电动机转动时，电刷与换向器表面形成滑动接触。刷握用螺母夹紧在刷杆上。每一刷杆上的一排电刷组成一个电刷组，同极性的各刷杆用连线连在一起，再引到出线盒。刷杆装在可移动的刷杆座上，以便对电刷位置进行调整。

电刷和刷握正常与否，直接影响到发电动机和电动机的安全稳定运行。因此，必须经常对电刷和刷握进行维护和保养。

1.电刷位置的调整

电刷与刷握的配合间隙应为 0.1～0.2mm，允许电刷在刷握中有少量的纵向跳动。如果电刷被刷握卡得太紧，可将电刷稍微磨小一点；如果电刷位置不在中心线上，可调整刷杆或刷握位置，使电刷位于中心线上。

2．调整电刷与集电环的接触压力

固定刷辫的螺栓应紧固，刷握的弹簧必须有一定的压力，且不能太松或太紧；若太松或太紧，应调整弹簧的压力，使电刷与集电环的接触压力适当。

3.4 线路器材

3.4.1 闸刀开关和空气开关

电工在进行线路安装时，对主开关应采用具有明显隔离断口或明显隔离指示的隔离电器。当发生电气故障时，只要分断隔离电器，用户端就与电源切断，此时即使是非熟练人员也可安全地修理电气设备。

在农村电路安装时常采用闸刀开关和空气开关。胶盖瓷底的闸刀开关由于价廉，目前仍在不少地区作为隔离电器使用，如图 3-5 所示。但这种开关不仅体积大，而且动触头和静触头易发热出现熔蚀现象，因此在某些地区正逐步被淘汰。现已采用更加安全的空气开关，如图 3-6 所示为其实物图。

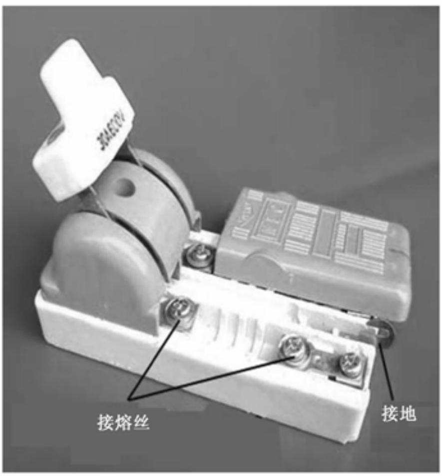


图3-5　闸刀开关实物图

3.4.2 漏电断路器

漏电断路器对电器的电源具有漏电保护功能。漏电断路器，俗称漏电

开关。分为电磁式和电子式两种，目前市场供应的漏电断路器绝大多数是电子式，如图 3-7 所示。



图3-6　空气开关

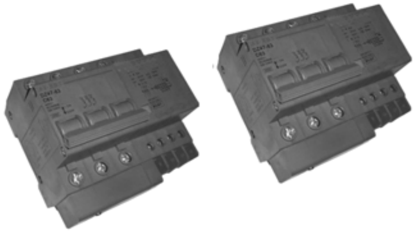


图3-7　漏电断路器

有的漏电断路器还具有过压保护和过载保护功能，因而选用这种漏电断路器时，必须在总开关的后面串联熔断器。因为电子式漏电断路器需要辅助电源才能工作，如果把熔丝串在电子式漏电断路器之前，则一旦发生过载或短路，相线熔丝未断而零线熔丝熔断时，漏电断路器则不会跳闸。

3.4.3　照明开关

照明开关的种类很多，有拉线开关（如图 3-8 所示）、扳动开关（如图 3-9 所示）、跷板开关（如图 3-10 所示）、钮子开关（如图 3-11 所示）、防雨开关（如图 3-12 所示）等。这些开关大多都有暗式和明式两种，暗式用于暗配管，明式用于明配管或护套线敷设的场所。



图3-8　拉线开关



图3-9　扳动开关



图3-10　跷板开关

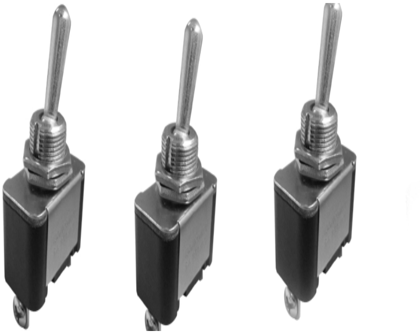


图3-11　钮子开关



图3-12　防雨开关

拉线开关的特点是拉线在开关内直接与相线接触，所以拉线的抗潮性和绝缘都很好；现在普遍采用尼龙绳拉线。

扳动开关的特点是分、合位置明显，不容易产生误动作，在电工线路安装中采用得较少。

跷板开关的特点是操作轻巧，使用很普遍。

在各种照明开关中钮子开关的体积最小，适用于低电压小电流的场合。

防雨开关的特点是在跷板开关中外加一个防水软塑料罩，主要适于在浴室、厨房中使用。

3.4.4　插座

电工在线路安装中使用的插座很多，其品牌很多，常用的有插板和插座两种如图 3-13 所示；也有明装和暗装两种形式。选用时应注重插座的品牌。



图3-13　插座

3.4.5　导线

在农村线路安装中，大多使用明敷的绝缘导线。绝缘导线应选用绝缘层厚薄均匀和表面无气孔无疙瘩的，选用有一定知名度的制造厂生产的导线，且合格证俱全。每卷 100m 的导线其长度允许误差为 2m，如图 3-14 所示。

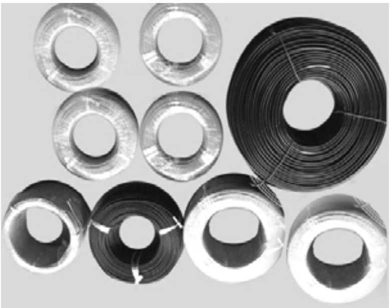


图3-14　绝缘导线

进入每个家庭的线为三根，即相线、中性线和接地线。导线颜色：相线为黄（或红、绿），中性线为淡蓝色，接地线为绿黄双色线。购买导线时应注意导线的颜色。

3.4.6　电线保护管

线路安装时，电线不准直接敷设在墙内，必须用电线保护管（如图 3-15 所示）加以保护。《住宅建筑设计标准》规定：电源、电话、电视线路应采用阻燃型塑料管暗敷或明敷。



图3-15　电线保护管

3.5　晶体二极管

晶体二极管又称为半导体二极管，简称二极管（英文全称

Semiconductor Diode），它是一种由半导体材料制成的，具有单向导电特性的两极器件。所谓单向导电性，即电流只能从二极管的正极流向负极。在正向电压的作用下导通电阻很小，而在反向电压的作用下，其导通电阻极大或无穷大。

晶体二极管在电路中常用符号“D”加数字表示，如 D5 表示编号为 5 的二极管。严格地说，晶体二极管是一个非线性器件。它是一个由 P 型半导体和 N 型半导体形成的 PN 结，在界面处两侧形成空间电荷层，形成自建电场。当没有外加电压时，由于 PN 结两边的载流子浓度差引起的扩散电流和自建电场引起的漂移电流相等，这样就处于电平衡状态。当施加正向电压时，外界电场削弱自建电场，使载流子的扩散电流增加形成了正向电流。当施加反向电压时，外界电场加强自建电场，形成在一定反向电压范围内与反向偏置电压值无关的反向饱和电流。当外加的反向电压增高到一定程度时，PN 结空间电荷层中的电场强度达到临界值产生载流子的倍增过程，出现了大量的电子空穴对，产生了数值很大的反向击穿电流，这就是二极管的击穿现象。

下面通过简单的实验说明晶体二极管的正向特性和反向特性。

1．正向特性

在电子电路中，将二极管的正极接高电位端、负极接低电位端，二极管就会导通，这种连接方式称为正向偏置。需要指出的是，加在二极管两端的正向电压应达到某一数值（称为“门槛电压”）后，二极管才能真正导通。导通后二极管两端的电压基本上保持不变，称为二极管的正向压降。

2．反向特性

在电子电路中，二极管的正极接低电位端、负极接高电位端，此时二极管处于截止状态，这种连接方式称为反向偏置。二极管处于反向偏置时，仍然会有微弱的反向电流流过，称为漏电流。当二极管两端的反向电压增大到某一数值时，反向电流会急剧增大，二极管将失去单方向导电的特性，这种状态称为二极管的击穿。

3.5.1 晶体二极管的分类

1．根据外形分类

晶体二极管按照外形分为圆形、方形、矩形、三角形和组合形等多种。

2．根据制作材料分类

晶体二极管按照制作材料主要分为锗二极管、硅二极管和砷化镓二极管三种。

3．根据封装结构分类

晶体二极管按照封装结构分为金属封装、陶瓷封装、塑料封装、玻璃封装（如玻球封装、玻璃钝化封装）、树脂封装、压装和无引线表面贴片封装等。

4．根据电流容量分类

晶体二极管按其电流容量可分为大功率二极管（电流为 5A 以上）、中功率二极管（电流在 1～5A）和小功率二极管（电流在 1A 以下）。

5．根据工作频率分类

晶体二极管根据其工作频率可分为高频二极管和低频二极管。

6．根据管芯构造分类

晶体二极管主要是利用 PN 结进行工作的。根据 PN 结构造面的特点，晶体二极管可分为点接触型二极管、合金型二极管、键型二极管、扩散型二极管、台面型二极管、平面型二极管、外延型二极管等。

点接触型二极管，是在锗或硅材料的单晶片上压入一根金属针后，再通过电流法而形成的二极管。其性能特点是：PN 结的静电容量小，不能用在大电流电路和整流工作状态。

合金型二极管，是在 N 型锗或硅的单晶片上，通过压入合金铟、铝等金属的方法制作 PN 结而形成的二极管。其性能特点是：正向压降小、但

PN 结的反向静电容量较大，故适用于大电流整流电路，但不适用于高频检波和高频整流电路。

键型二极管，介于点接触型二极管和合金型二极管之间。它又可分为金键型（在锗或硅的单晶片上采用熔接金丝而形成）和银键型（在锗或硅的单晶片上采用熔接银丝而形成）两种。其性能特点是：正向特性较好，常用作开关二极管和小电流整流、检波二极管。

扩散型二极管，是在高温的 P 型杂质中加入 N 型锗或硅的单晶片，使单晶片表面的一部分变成 P 型的方法制作 PN 结而形成的二极管。其性能特点是：PN 结正向压降小，常用作大电流整流二极管。

台面型二极管的 PN 结制作方法与扩散型基本相似，它只保留 PN 结及其必要的部分，把不必要的部分用药品腐蚀掉，使剩余的部分呈现出台面形，因此又称扩散台面型二极管。常用作小电流开关二极管。

平面型二极管，是在半导体单晶片上扩散 P 型杂质，利用硅片表面氧化膜的屏蔽作用，在 N 型硅单晶片上仅选择性地扩散一部分制作 PN 结而形成的二极管。早期使用的半导体材料有些是采用外延法形成的，故又将平面型称为外延平面型。常用作小电流开关二极管。

外延型二极管，是用外延结面长度的过程制造 PN 结而形成的二极管。在制造过程中能随意地控制杂质的不同浓度分布，形成可变的结间电容。常用作高灵敏度的变容二极管。

7．根据用途及功能分类

晶体二极管按其用途可分为：普通二极管和特殊二极管。普通二极管包括整流二极管、检波二极管、稳压二极管、开关二极管、快速二极管等；特殊二极管包括变容二极管、发光二极管、隧道二极管、触发二极管等。

二极管按其功能可分为普通二极管、精密二极管、整流二极管、检波二极管、开关二极管、高速开关二极管、超高速开关二极管、阻尼二极管、续流二极管、稳压二极管、发光二极管、激光二极管、光敏二极管、变容二极管、双向击穿二极管、瞬态电压抑制二极管、磁敏二极管、肖特基二极管、温度效应二极管、江崎二极管、PIN 二极管、雪崩二极管、双向触发二极管（其工作原理与晶闸管相同，故在《最新通用晶闸管置换手册》

一书中进行介绍）、体效应（又称耿氏）二极管、恒流二极管、双基极二极管等多种。

以下对常用二极管进行具体说明。

（1）整流二极管

将交流电整流成为直流电流的二极管叫做整流二极管。它是面结合型的功率器件，因结电容大，故工作频率低。通常情况下，I_F（最大平均整流电流）在 1A 以上的二极管采用金属壳封装，以利于散热；I_F 在 1A 以下的采用全塑料封装，由于工艺技术不断提高，目前国外出现了不少较大功率的管子也采用塑封形式，如图 3-16 所示。

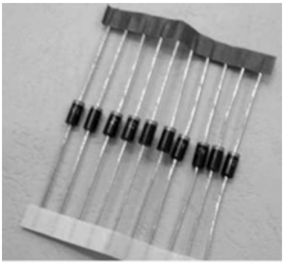


图3-16　普通塑封整流二极管

（2）检波二极管

检波二极管是用于把叠加在高频载波上的低频信号检出来的器件，它具有较高的检波效率和良好的频率特性。类似点接触型检波用的二极管，除用于检波外，还能够用于限幅、削波、调制、混频和开关等电路，如图 3-17 所示。



图3-17　普通检波二极管

（3）开关二极管

在脉冲数字电路中，用于接通和关断电路的二极管叫开关二极管。它是利用二极管的单向导电特性使其成为一个较理想的电子开关，不仅能满足普通二极管的性能指标要求，还具有良好的高频开关特性。

开关二极管分为普通开关二极管、高速开关二极管、超高速开关二极管、低功耗开关二极管、高反压开关二极管及硅电压开关二极管等，常见的封装形式有塑料封装和表面封装两种。图 3-18 为高速开关二极管的实物图。

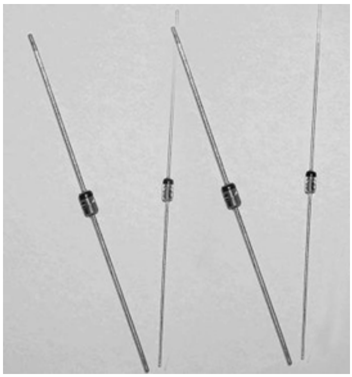


图3-18　高速开关二极管的实物图

（4）稳压二极管

稳压二极管是利用 PN 结反向击穿特性所表现出的稳压性能制成的器件。稳压二极管又称齐纳二极管或反向击穿二极管，简称稳压管，它是由硅材料制成的面结合型晶体二极管。它既具有普通二极管的单向导电特性，又可工作于反向击穿状态。在反向电压较低时，稳压二极管截止。稳压二极管是代替稳压电子二极管的产品，它利用 PN 结反向击穿时电压基本上不随电流的变化而变化的特点，来达到稳压的目的。

稳压二极管根据其封装形式可分为金属外壳封装稳压二极管、玻璃封装（简称玻封）稳压二极管和塑料封装（简称塑封）稳压二极管。塑封稳压二极管又分为有引线型和表面（贴片）封装两种类型。图 3-19 为普通玻封稳压二极管。



图3-19 普通玻封稳压二极管

（5）发光二极管

发光二极管简称LED（英文全称Light Emitting Diode），是一种由磷化镓（GaP）等半导体材料制成的，能直接将电能转变为可见光和辐射能的发光器件。它与普通二极管一样由PN结构成，也具有单向导电性，广泛应用于各种电子仪器和电子设备中，可作为电源指示、电平指示或微光源之用。图3-20为常用发光二极管。



图3-20 常用发光二极管外形

发光二极管的种类较多，常见的分类方法如下：

按使用材料分为磷化镓（GaP）发光二极管、磷砷化镓（GaAsP）发光二极管、砷化镓（GaAs）发光二极管、磷铟砷化镓（GaAsInP）发光二极管和砷铝化镓（GaAlAs）发光二极管等。

按发光颜色分为有色光和红外光。有色光包括红色光、黄色光、橙色光、绿色光等。

按封装形式分加色散射封装（D）、无色散射封装（W）、有色透明封装（C）和无色透明封装（T）。

按功能特性分普通单色发光二极管、变色发光二极管、高亮度发光二极管、超高亮度发光二极管、变色发光二极管、闪烁发光二极管、电压控制型发光二极管、红外发光二极管和负阻发光二极管等。其中，变色发光二极管是指能变换发光颜色的发光二极管，它按颜色种类又可分为双色发光二极管、三色发光二极管和多色发光二极管；按引脚数量分为二端变色发光二极管、三端变色发光二极管、四端变色发光二极管和六端变色发光二极管。

（6）激光二极管

从本质上讲，激光二极管 LD（Laser Diodes）就是一个在正向电流激励条件下的半导体发光器件。图 3-21 为常用激光二极管实物图。



图3-21 常用激光二极管实物图

目前，在光通信领域大量使用的有两种激光二极管法布里−珀罗激光二极管（FP，Fabry-Perot）和分布式反馈激光二极管（DFB，Distributed Feedback）。二者的区别主要表现在输出光特性的不同，FP 激光器能够产生包含有若干种离散波长的光，而 DFB 激光器则发出具有额定波长的光。由于波分复用 WDM（Wavelength Division Multiplexing）技术要求具有多种不同波长的光信号同时进行传输，因此在现今所有的 WDM 系统中均使用 DFB 激光器。而 FP 激光器则大多用于那种一个光纤通路对应一个收发器（Transceiver）的系统。

（7）变容二极管

变容二极管 VCD（Variable-Capacitance Diode）又称为变容器或调节

二极管，它是利用 PN 结的电容随外加偏压的变化而变化这一特性制成的非线性电容元件。它被广泛地用于参量放大器、电子调谐及倍频器等微波电路中。图 3-22 为常见变容二极管的实物图。

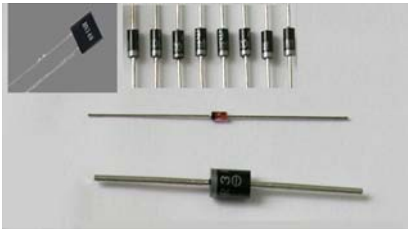


图3-22 常见变容二极管实物图

变容二极管按照 PN 结的结构和结面附近杂质的分布情况不同，可以分成缓变结、突变结和超变结三种类型。其中，缓变结变容二极管的电容变化速率最慢，超变结变容二极管的电容变化速率最快。

从本质上讲，变容二极管属于反偏压二极管，改变其 PN 结上的反向偏压，即可改变 PN 结的电容。反向偏压越高，结电容就越小，反向偏压与结电容之间的关系是非线性的。

（8）PIN 型二极管

PIN 型二极管（PIN Diode）是在 P 区和 N 区之间夹一层本征半导体（硅或锗的单晶体）或低浓度杂质的半导体构造而成的晶体二极管，PIN 中的 I 是本征意义的英文略语。实际应用时，可以把 PIN 二极管作为可变阻抗元件使用，常用于高频开关、移相、调制和限幅等电路中。图 3-23 为一种 PIN 二极管实物图。

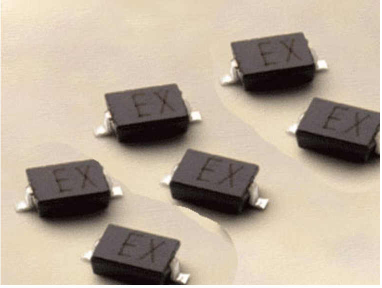


图3-23 一种PIN二极管实物图

（9）雪崩二极管

雪崩二极管（Avalanche Diode）又称碰撞雪崩渡越时间二极管，是一种在外加电压作用下可以产生超高频振荡的半导体二极管。它常被应用于微波领域的振荡电路中。图 3-24 为雪崩二极管实物图。



图3-24　雪崩二极管实物图

（10）江崎二极管

江崎二极管（Tunnel Diode）又称隧道二极管，它是一种具有负阻特性的双端子有源器件。目前主要用掺杂浓度较高的锗或砷化镓制成，隧道电流由这些半导体的量子力学效应产生。江崎二极管具有开关、振荡和放大等作用，可应用于低噪声高频放大器、高频振荡器及高速开关电路中。图 3-25 为一种江崎二极管实物图。



图3-25　江崎二极管实物图

（11）肖特基二极管

肖特基二极管 SBD（英文全称 Schottky Barrier Diode）又称肖特基势垒二极管，它是具有肖特基特性的金属半导体结的二极管。肖特基二极管以贵金属（金、银、铝、铂等）为正极、N 型半导体为负极，利用二者接触面上形成的势垒具有整流特性而制成的。这种器件是由多数载流子导电的，所以其反向饱和电流要比少数载流子导电的 PN 结大得多。图 3-26 为大功率肖特基二极管实物图。



图3-26　大功率肖特基二极管实物图

肖特基二极管的特点是耐压比较低，反向漏电流比较大。通常应用在功率变换电路中的肖特基二极管，其耐压在 150V 以下，平均电流在 100A 以下，反向恢复时间范围在 10～40ns。总之，肖特基二极管应用在高频低压电路中比较理想。

肖特基二极管有点触式（点接触型）和面触式（面接触型）两种。其中，点触式主要应用在微波通信电路中作为混频器或检波器用，而面触式主要应用在开关电源及其保护电路中作为高频低压大电流整流或续流二极管之用。

另外，肖特基二极管还有单管式和对管（双二极管）式两种封装结构。其中，肖特基对管又有共阴极型（两管的负极相连）、共阳极型（两管的正极相连）和串联型（一只二极管的正极接另一只二极管的负极）三种管脚引出方式。

（12）恒流二极管

恒流二极管简称 CRD，是用来稳定电流的二极管，又称稳流二极管。它可以在较宽的电压变化范围内提供恒定不变的电流，因而在各种放大电路、振荡电路及稳压电源电路中被用做恒流源或恒流偏置元件。图 3-27 为一种恒流二极管实物图。

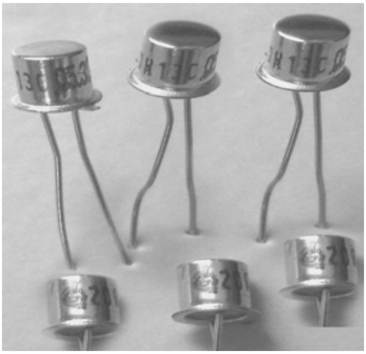


图3-27　一种恒流二极管实物图

（13）双基极二极管

双基极二极管又称单结晶体管，它是一种具有两个基极、一个发射极的三端负阻器件，具有频率易调、温度稳定性较好等特点。图 3-28 为一种双基极二极管的实物图。

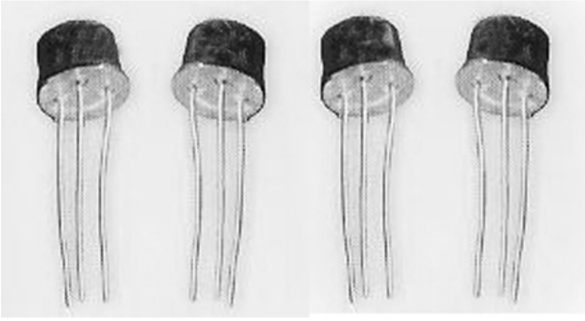


图3-28　一种双基极二极管实物图

8．根据特性分类

点接触型晶体二极管，按正向和反向特性可分为一般用点接触型、高反向耐压点接触型、高反向电阻点接触型和高传导点接触型四种类型。

一般点接触型二极管是正向和反向特性既不特别好、也不特别坏的中间产品，常被应用于检波和整流电路中，如 SD46、1N34A 等。

高反向耐压点接触型二极管是最大峰值反向电压和最大直流反向电压很高的产品，使用于高压电路的检波和整流，如 SD38、1N38A 等。

高反向电阻点接触型二极管的正向电压特性和一般用二极管相同，其反向电阻高，常用于高输入电阻的电路和高负荷电阻的电路中，如 SD54、1N54A 等。

高传导点接触型二极管与高反向电阻型相反，其反向特性尽管很差，但其正向电阻很小，如 SD56、1N56A 等。

9．根据反向恢复时间分类

二极管从导通到反向截止的恢复时间是不一样的，由此可将二极管分为普通二极管（就是普通恢复二极管或普通二极管）和快速二极管。快速二极管的工作原理与普通二极管是相同的，普通二极管工作在开关状态下的反向恢复时间较长（一般为 4～5ms），在高频电路中不能适用。快速二极管的反向恢复时间较短（一般在 5μs 以下），常用于高频整流、高频开关、高频阻容吸收和逆变等电路中，以弥补普通二极管的不足。

快速二极管是个表征二极开关速度的总概念。常见的快恢复二极管、超快恢复二极管和肖特基二极管均属于快速二极管。在商业领域，根据快速二极管的反向恢复时间的长短，还分化出了超快速二极管、特快速二极管、最快速二极管、高速二极管、超高速二极管、最高速二极管等这些定性的商业概念，实质上就是指其反向恢复时间特别短。

根据二极管的反向恢复的时间可分为普通恢复、快恢复和超快恢复三种，其中，快恢复和超快恢复二极管属于快速二极管。快恢复二极管的内部结构与普通 PN 结二极管不同，工艺上多采用掺金措施，结构上大多数采用改进的 PIN 结构，即在 P 型硅材料与 N 型硅材料中间增加了基区 I，构成 PIN 硅片。因基区很薄，反向恢复电荷很小，所以快恢复二极管的反

向恢复时间较短（一般在 5μs 以下），正向压降较低。超快恢复二极管的反向恢复时间更短，一般在 100ns 以下。

3.5.2　晶体二极管的命名

1．国产晶体二极管的命名

国产晶体二极管的型号主要由五部分组成。第一部分用数字表示器件电极数目、第二部分用拼音字母表示器件的材料和极性、第三部分用拼音字母表示器件的类型、第四部分用数字表示序号、第五部分用字母表示区别代号。各部分的符号及其含义如表 3-1 所示。

表 3-1　国产晶体二极管型号命名各部分的符号及含义

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分		第五部分	
符号	含义	符号	含义	符号	含义	符号	含义	符号	含义
2	二极管	A	N 型、锗材料	P	普通管	X	低频小功率管	A	高频大功率管
		B	P 型、锗材料	V	微波管				
		C	N 型、硅材料	W	稳压管				
		D	P 型、硅材料	C	参量管				

2．日本产晶体二极管的命名

日本产晶体二极管型号的命名由五部分到七部分组成，一般只用到前五个部分。第一部分用数字表示器件有效电极数目或类型，如 1 表示二极管；第二部分为日本电子工业协会 JEIA 注册标志；第三部分用字母表示器件使用材料极性和类型；第四部分用数字表示在日本电子工业协会 JEIA 登记的顺序号；第五部分用字母表示同一型号的改进型产品标志，如 A、B、C、D 表示这一器件是原型号产品的改进产品。

3．美国产晶体二极管的命名

美国产晶体二极管的命名较混乱，一般由五个部分组成：第一部分用符号表示器件用途的类型；第二部分用数字 1 表示晶体二极管的 PN 结数目；第三部分为美国电子工业协会（EIA）注册标志；第四部分为美国电

子工业协会登记顺序号；第五部分用字母对同一类型的器件进行分挡。

4. 欧洲国家晶体二极管的命名

欧洲国家大多采用国际电子联合会半导体器件的命名方法，这种命名方法由四个基本部分组成：第一部分用字母表示器件使用的材料，如 A 表示器件使用锗材料，B 表示器件使用的硅材料；第二部分用字母表示器件的类型及主要特征，如 A 表示检波、开关、混频二极管，B 表示变容二极管，X 表示倍增二极管，Y 表示整流二极管，Z 表示稳压二极管；第三部分用数字或字母加数字表示登记序号；第四部分用字母对同一类型的器件进行分挡。

除以上四个基本部分外，有时还加后缀，以区别特性或进一步分类。常见后缀有以下几种：

（1）稳压二极管型号的后缀

它分三个部分：第一部分是一个字母，表示稳定电压值的容许误差范围，字母 A、B、C、D 分别表示容许误差为±1%、±2%、±5%、±15%；第二部分是数字，表示标称稳定电压的整数数值；第三部分是字母 V，代表小数点，字母 V 之后的数字为标称稳压管稳定电压的小数值。

（2）整流二极管的后缀

整流二极管型号的后缀是数字，表示器件的最大反向峰值耐压值。

3.5.3 晶体二极管的主要参数

描述二极管特性的物理量称为二极管的参数。它是反映二极管电性能的指标，是合理选择和使用二极管的主要依据。在半导体器件手册或生产厂家的产品目录中，对各种型号的二极管均用表格列出其参数。以下为二极管主要性能参数项目。

1. 最大平均整流电流I_F

最大平均整流电流又称额定整流电流，它是二极管在正常连续工作时，允许通过的最大正向平均电流。实际应用中，此参数与 PN 结的面积、材料及散热条件有关。因为电流通过二极管时会使管芯发热，温度上升，

如果正向电流越过此值，就会使管芯过热而烧坏。所以使用二极管整流时，流过二极管的正向电流（即输出直流电流）不允许超过最大整流电流 I_F。

2．反向饱和漏电流I_R

I_R 是指在二极管两端加上反向电压时，流过二极管的电流。该电流与半导体材料和温度有关。在常温下，硅管的 I_R 值为纳安（10^{-9}A）级，锗管的 I_R 为微安（10^{-6}A）级。

3．最大平均整流电流I_O

I_O 是指在半波整流电路中，流过负载电阻的平均整流电流的最大值。在设计整流电路时这是一个非常重要的电流值。

4．最大浪涌电流I_{FSM}

I_{FSM} 是二极管允许流过的过量的正向电流值。它不是正常电流，而是瞬间电流，这个值比正常值要大很多。

5．最大反向电流I_{RM}

反向电流 I_{RM} 是指二极管在规定的温度和最高反向电压的作用下，流过二极管的反向电流值。此参数反映了二极管单向导电性能的好坏，其数值越低，则表明二极管质量越好。需注意的是，反向电流与温度有着密切的关系，大约温度每升高 10℃，反向电流增大一倍。一般来说，硅二极管比锗二极管在高温下具有更好的稳定性。

6．最大反向峰值电压V_{RM}

在电子电路中，即使没有反向电流，只要不断地提高反向电压，二极管也会损坏。这种能加上的反向电压，不是瞬时电压，而是反复加上的正、反向电压。最大反向峰值电压 V_{RM} 就是指为避免二极管在没有反向电流的情况下被击穿所能加的最大反向电压。目前二极管最高的 V_{RM} 值可达数千伏。对于交流电来说，最高反向峰值电压也就是二极管的最高工作电压。

7．最大直流反向电压V_R

与 V_{RM} 不同的是，V_R 是连续给二极管加上反向直流电压时不被击穿的最大值。在电路设计中，V_R 对于确定二极管的允许值和上限值是非常重要的。最高反向工作电压取值约为击穿电压的一半，以确保二极管的安全运行。

8．正向电压降V_F

二极管通过额定正向电流时，在两极之间所产生的电压降称为正向电压降 V_F。

9．结电容C_j

结电容 C_j 又称极间电容，它包括势垒电容和扩散电容。在高频场合下使用时必须考虑结电容的影响。二极管在不同的工作状态下，其结电容产生的影响也不同。

10．反向恢复时间T_{rr}

当工作电压从正向电压变成反向电压时，从理论上讲，二极管的电流能瞬时截止，但实际上是做不到的。决定这个电流截止延时的时间长短，就是反向恢复时间 T_{rr}，T_{rr} 就是当二极管由导通突然反向时，反向电流由很大衰减到接近 I_R 时所需要的时间。T_{rr} 直接影响二极管的开关速度，当大功率开关二极管工作在高频开关状态时，此项指标是否合理是电路设计中不可忽视的要求。

11．最高工作频率f_M

由于二极管 PN 结结电容的存在，当工作频率超过某一值时，它的单向导电性将变差。最高工作频率是指二极管在正常工作时，允许通过交流信号的最高频率。此参数的大小主要由二极管的电容效应来决定。实际应用时，通过二极管电流的频率不要超过 f_M，否则二极管将不能正常工作。

12．稳定电压V_Z、稳定电流I_Z

稳定电压和稳定电流是稳压二极管的主要参数。稳定电压 V_Z 是二极管在正常工作时管子两端的电压值，它随工作电流和温度的不同略有改变。通常同一型号的稳压二极管，其稳定电压值也有一定的分散性。

稳压管还有一个重要的参数是温度系数。它与 V_Z 有关，稳压管的稳压值 V_Z 的温度系数在 V_Z 低于 4V 时为负值；当 V_Z 的值大于 7V 时，其温度系数为正值；当 V_Z 的值在 6V 左右时，其温度系数近似为零。为了生产低温度系数的稳压管，通常是将两只稳压管反向串联，利用两只稳压管处于正反向工作状态时具有正、负不同的温度系数，可得到很好的温度补偿，从而使稳压管达到较低温度系数的目的。

稳定电流 I_Z 是指二极管工作电压等于稳定电压时的反向电流。二极管工作于稳定电压时所需的最小反向电流称为最小稳定电流（I_{Zmin}），二极管允许通过的最大反向电流称为最大稳定电流（I_{Zmax}）。

13．散耗功率P_W

P_W 表示在室温 25℃无散热片时二极管连续工作的极限散耗功率；P_F 表示为二极管正向耗散功率；P_{tot} 为二极管总消耗功率。功率 P 的极限参数对稳压二极管、可变电阻二极管显得特别重要。

3.5.4　晶体二极管的结构与符号

1．常见晶体二极管的基本结构与符号

1）常见晶体二极管的外形与结构

（1）外形

常见晶体二极管的外形如图 3-29 所示。

如图 3-30 所示，在一个 PN 结两端各引一根电极引线并用管壳封装就构成了一个二极管。P 型区的引出线称为正极或阳极，N 型区的引出线称为负极或阴极。



图3-29　晶体二极管的外形

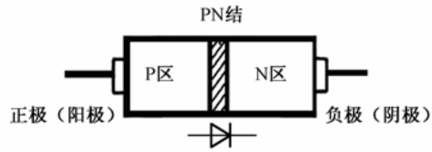


图3-30　二极管的PN结

（2）结构

晶体二极管按其工艺可分为点接触型和面接触型两种。如图 3-31 所示的点接触型二极管是由一根细的金属丝热压在半导体薄片上制成的。在热压处理过程中，半导体薄片与金属丝接触面上形成了一个 PN 结，金属丝为正极，半导体薄片为负极。面接触二极管是利用扩散、多用合金及外延等掺杂方法，来实现 P 型半导体和 N 型半导体直接接触而形成 PN 结的，其内部结构如图 3-32 所示。

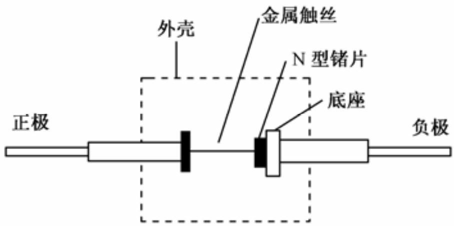


图3-31　点接触型二极管的结构

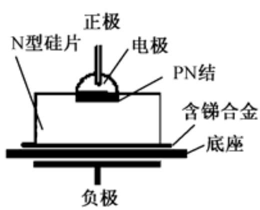
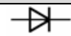
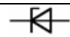
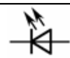
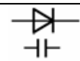
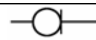
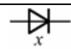
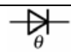
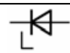
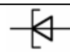
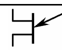
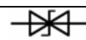
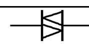


图3-32　面接触型二极管的结构

2）晶体二极管的电路图形符号

晶体二极管在电路中常用字母“D”或“VD”表示。常见晶体二极管的电路符号如表 3-2 所示。

表 3-2　常见晶体二极管的电路符号

晶体二极管类型	二极管的电路图形符号
一般二极管	
稳压（又称齐纳）二极管	
发光二极管	
光电二极管	
变容二极管	
恒流（稳流）二极管	
磁敏二极管	
温度效应二极管	
雪崩（碰撞雪崩渡越时间）二极管	
江崎（隧道）二极管	
双基极二极管	
双向击穿二极管	
双向二极管	
体效应（耿氏）二极管	

2．其他晶体二极管的结构

1）发光二极管

（1）常见发光二极管

常见发光二极管的外形如图 3-33 所示。它的基本结构是一块电致发光

的半导体材料，置于一个有引线的架子上，然后四周用环氧树脂密封，起到保护内部芯线的作用。

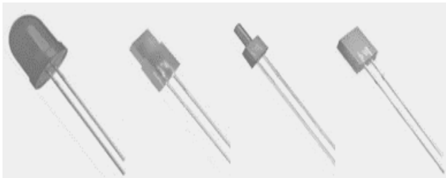
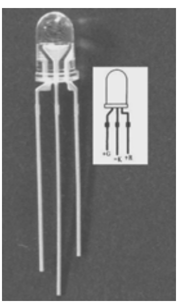


图3-33　常见发光二极管的外形

发光二极管的核心部分是由 P 型半导体和 N 型半导体组成的晶片，在 P 型半导体和 N 型半导体之间有一个过渡层，称为 PN 结。在某些半导体材料的 PN 结中，注入的少数载流子与多数载流子，在复合时会把多余的能量以光的形式释放出来，从而把电能直接转换为光能。它利用注入式电致发光原理制成，通称为 LED。PN 结加反向电压，少数载流子难以注入，故不发光。当它处于正向工作状态时（即两端加上正向电压），电流从 LED 阳极流向阴极时，半导体晶体就发出从紫外到红外不同颜色的光线，且光的强弱与电流的大小有关。

（2）变色发光二极管

三端变色发光二极管的外形如图 3-34 所示，电路图形符号如图 3-35 所示。六端变色发光二极管的外形如图 3-36 所示，电路图形符号如图 3-37 所示。



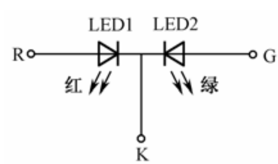


图3-34　三端变色发光二极管的外形图　图3-35　三端变色发光二极管的电路图形符号

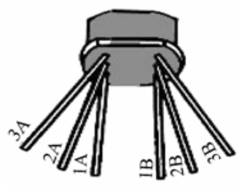


图3-36　六端变色发光二极管的外形图

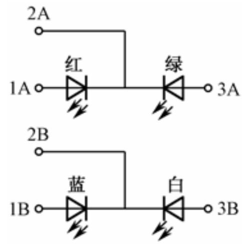


图3-37　六端变色发光二极管的电路图形符号

（3）闪烁发光二极管

闪烁发光二极管（BTV）的外形如图 3-38 所示。闪烁发光二极管的内部结构如图 3-39 所示，它是将普通发光二极管和 CMOS 集成电路集成制作为一体。实际应用时，在闪烁发光二极管引脚两端加上适当的直流工作电压，二极管即可闪烁发光，无须外接其他元件。

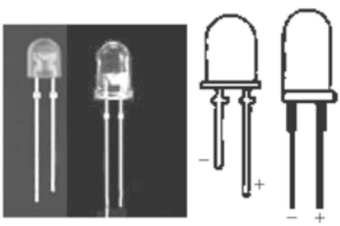


图3-38　闪烁发光二极管的外形图

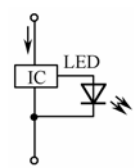


图3-39　闪烁发光二极管的内部结构

（4）电压控制型发光二极管

电压控制型发光二极管是一种由普通发光二极管和限流电阻集成制作为一体的特殊发光器件，其内部结构如图 3-40 所示。它与普通发光二极管的根本区别是：普通发光二极管属于电流控制型器件，在使用时需串接适当阻值的限流电阻，而电压控制型发光二极管在使用时可直接并接在电源的两端。

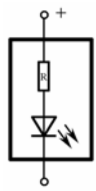


图3-40　电压控制型发光二极管的内部结构图

2）双向击穿二极管

双向击穿二极管又称瞬态电压抑制二极管（TVS），其外形及内部结构如图 3-41 所示。它是一种具有双向稳压特性和双向负阻特性的过压保护器件，类似于压敏电阻器。

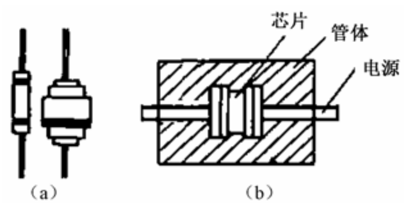


图3-41　双向击穿二极管外形及内部结构图

3）肖特基二极管

如图 3-42 所示，肖特基二极管在结构原理上与 PN 结二极管有很大的区别，它的内部是由阳极金属（用钼或铝等材料制成的阻挡层）、二氧化硅（SiO_2）电场消除材料、N^-外延层（砷材料）、N 型硅基片、N^+阴极层及阴极金属等构成。

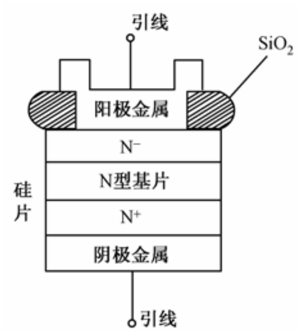


图3-42　肖特基二极管的内部结构

肖特基二极管有表面安装（贴片式）和引线两种封装形式。采用表面封装的肖特基二极管有单管型、双管型和三管型等多种封装结构。采用引线式封装的肖特基二极管通常作为高频大电流整流二极管、续流二极管或保护二极管使用。

4）激光二极管

激光二极管的物理结构是在发光二极管的 PN 结间安置一层具有光活性的半导体，其端面经过抛光后具有部分反射功能，因而形成了一个光谐振腔。在正向偏置的情况下，LED 的 PN 结发射光束与光谐振腔相互作用，从而进一步激励 PN 结发射出单波长的光，这种光的物理特性与材料有关。

激光二极管的内部结构如图 3-43 所示，主要由激光发射部分 LD 和激光接收部分 PD 组成。LD 和 PD 两部分又有公共端 b，公共端一般同管子的金属外壳相连，所以激光二极管实际上只有三个引脚 a、b 和 c。

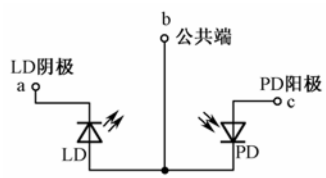


图3-43　激光二极管的内部结构

3.5.5　晶体二极管的选用

晶体二极管的类型较多，在选用时，既要根据它们的用途、性能和主要参数，又要根据各种电路的不同要求来选择二极管。

1．选用二极管的基本方法

二极管的种类繁多，同一种类的二极管又有不同型号或不同系列，应根据具体电路的要求选用。在选好二极管类型的基础上，再选用二极管的各项主要技术参数，使这些电参数和特性符合电路要求，并且要注意不同用途的二极管对哪些参数要求更严格。例如，选用整流二极管时要注意最大整流电流，还要注意选用的是高频二极管还是低频二极管；选用稳压二

极管时要注意反向恢复时间和稳压值。在选用二极管的各项主要参数时，除了从相关的资料和《晶体管手册》查出相应的参数值满足电路要求后，还应用万用表及其他仪器复测一次，使选用的二极管参数符合要求，并留有一定的余量。

当上述二极管的种类、型号、参数等均选好以后，再根据电路的要求和使用条件（包括电子设备的内部尺寸）选用二极管的外形、尺寸大小和封装形式。注意检查二极管的外形是否完好无损，引出电极线有无折断，管体标志的规格、型号和极性等是否清楚；最后用万用表和其他方法检测二极管的性能是否良好。

2．不同二极管的选用方法

（1）检波二极管的选用

在电子电路中用检波二极管把调制在高频电磁波上的低频信号（如音频信号）检出来，一般高频检波电路选用点接触型锗检波二极管，如 2AP 系列等。实际选用时，应根据电路的具体要求来选择工作频率足够高、反向电流足够小、正向电流足够大的检波二极管。

（2）整流二极管的选用

整流二极管选用时，主要应考虑其最大整流电流、最大反向工作电流、截止频率及反向恢复时间等参数。选用整流电路中使用的整流二极管时，应首先了解整流电路的输入电压、输出电流，整流电路的形式及各项参数值等，然后再根据电路的具体要求选用合适的整流二极管。例如，在串联型稳压电源电路中可选用一般的整流二极管，只要有足够大的整流电流和反向工作电压即可；在低压整流电路中，所选用的整流二极管的正向电压应尽量小；开关型稳压电源，应选用反向恢复时间短的快恢复整流二极管。

（3）稳压二极管的选用

稳压二极管是工作在反向击穿状态下的，使管子两端电压基本不变的一种特殊二极管。选用时，应满足应用电路中主要参数的要求。稳压管的稳定电压值应与应用电路的基准电压值相同，其最大稳定电流应高于应用电路的最大负载电流的 50%左右。目前国产稳压管还有三个电极的，如 2DW7 型稳压管。这种稳压管是将两个稳压二极管相互对称地封装在一

起，其外形很像晶体二极管，选用的时候应注意区别。

使用稳压管时，应注意二极管的反向电流不能无限增大，否则会导致二极管过热损坏。因此，稳压管在电路中一般需串联限流电阻。在选用稳压管时，如果需要稳压值较大的管子而又购买不到时，可以用几只稳压值较低的管子串联使用；反之，当需要稳压值较低的管子时，也可用普通硅二极管正向导通代替稳压管来使用，但稳压管一般不得并联使用。

（4）开关二极管的选用

在选用开关二极管时，应根据应用电路的主要参数（如正向电流、最高反向电压、反向恢复时间等）来选择开关二极管的具体型号。其中，反向恢复时间这个参数决定了开关时间，选用时要注意此参数的对比，选用更符合要求的开关二极管。通常中速开关电路和检波电路可选用 2AK 系列普通开关二极管，高速开关电路可选用 RLS 系列、1SS 系列、1N 系列、2CK 系列的高速开关二极管。

（5）变容二极管的选用

选用变容二极管时，应着重考虑其工作频率、最高反向工作电压、最大正向电流和零偏压结电容等参数是否符合应用电路的要求。使用变容二极管时，要避免其直流控制电压与振荡电路直流供电系统之间的相互影响，通常采用电感或大电阻来作两者的隔离。另外，变容二极管的工作点要选择合适，即直流反偏压要选择适当。一般要选用相对容量变化大、反向偏压小的变容二极管。

（6）发光二极管的选用

选用发光二极管时，要注意其最大正向电流和最大反向电压的限制，应保证不超过此值。另外，由于发光二极管的颜色、尺寸、形状、发光强度及透明状况等不同，所以使用发光二极管时应根据实际需要恰当地进行选择。

使用发光二极管时应注意四点：一是注意引脚的正、负极性；二是注意引脚的排列顺序，　并要串接限流电阻，确保发光管通过规定的电流；三是使用大功率的砷化镓发光二极管时应注意加装散热片；四是注意保护管壳、管帽的光洁度，确保透光性能良好。

3．常见晶体二极管的代换技巧

（1）检波二极管的代换

检波二极管损坏后，若无同型号二极管更换时，可以选用半导体材料相同、主要参数相近的二极管来代换。在业余条件下，也可用损坏了一个PN 结的锗材料高频晶体管进行代用。

（2）整流二极管的代换

整流二极管损坏后，可以用同型号的整流二极管或参数相似的其他型号整流二极管来代换。通常高耐压值（反向电压）的整流二极管可以代换低耐压值的整流二极管，但低耐压值的整流二极管不能代换高耐压值的整流二极管。另外，整流电流值大的二极管可以代换整流电流值小的二极管，而整流电流值小的二极管则不能代换整流电流值大的二极管。

（3）稳压二极管的代换

稳压二极管损坏后，应采用同型号稳压二极管或电参数相同的稳压二极管来更换。具有相同稳定电压值的耗散功率高的稳压二极管可以用来代换耗散功率低的稳压二极管，但不能用耗散功率低的稳压二极管来代换耗散功率高的稳压二极管。

（4）开关二极管的代换

开关二极管损坏后，应用同型号的开关二极管更换或用与其主要参数相同的其他型号的开关二极管来代换。通常高速开关二极管可以代换普通开关二极管，反向击穿电压高的开关二极管可以代换反向击穿电压低的开关二极管。

（5）变容二极管、发光二极管的代换

变容二极管和发光二极管损坏后，应更换与原型号相同的二极管或用其主要参数相同的其他型号的二极管来进行代换。

3.5.6 晶体二极管的检测

1．普通二极管的检测

由晶体二极管的结构可知，它是由一个 PN 结构成的具有单向导电特性的器件。二极管在正向导通时呈低阻，而在反向偏置时则呈高阻。利用

数字式万用表不仅能鉴别二极管的性能、区分引脚特性，而且还可估测出二极管是否损坏。

（1）判定引脚的正、负极

晶体二极管的正、负极可按下列方法进行判别：

一是查看管壳上的符号标记，标有三角形的，其箭头一端为正极，另一端为负极。对于点接触型玻璃外壳二极管，可透过玻璃看触针，金属触针的一头为正极。另外，在点接触型二极管的外壳上，通常标有色点（白色或红色），除少数二极管外，一般标记色点的一端为正极。

二是用万用表 R×100Ω挡或 R×1kΩ挡，任意测量二极管的两根引线，测出一个结果后，对调两表笔，再测出一个结果。两次测量结果中，有一次测量出的阻值较大即为反向电阻，一次测量出的阻值较小则为正向电阻。在阻值较小的一次测量中，黑表笔接的是二极管的正极，红表笔接的是二极管的负极。

三是用电池和喇叭来判别二极管的正、负极，具体方法是：将一节电池和一个喇叭与被测二极管构成串联电路（如图 3-44 所示），用二极管的一端引线断续触碰喇叭，然后将二极管倒头再测一次，以听到“咯、咯”声较大的一次为准，电池正极相接的那一根引线为正极，另一根为负极。

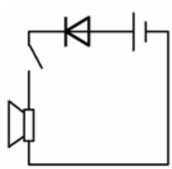


图3-44　二极管检测电路

（2）二极管性能的检测

① 单向导电性能的检测。

用万用表 R×100 挡或 R×1kΩ挡测量二极管的正、反向电阻。通常锗材料二极管的正向电阻值约为 1.1kΩ、反向电阻值约为 350kΩ，硅材料二极管的电阻值为 5kΩ左右、反向电阻值为∞（无穷大）。正向电阻越小越好，反向电阻越大越好。正、反向电阻值相差越悬殊，则说明二极管的单

向导电特性越好。若测得正向电阻太大或反向电阻太小，表明二极管的检波与整流率不高。若正向电阻为无穷大，说明二极管内部已断路。若反向电阻接近零，表明二极管已被击穿。

② 反向击穿电压的检测。

二极管反向击穿电压（耐压值）可以用晶体管直流参数测试表进行测量。具体方法是：将测试表的“NPN/PNP”选择键设置为 NPN 状态，再将被测二极管的正极接测试表的“c”插孔内、负极插入测试表的“e”插孔，然后按下“V（BR）”键，测试表即可指示出二极管的反向击穿电压值。

若没有万用表，也可采用如图 3-45 所示电路进行检测。当二极管负端接电池正极，正端串接喇叭再接电池负极（反向连接），断续接通时，若喇叭发出较大的“咯咯”声，表明二极管已被击穿；反过来，如果将二极管正向连续接通时，喇叭无一点响声，则表明二极管内部断路。

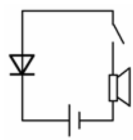


图3-45　二极管反向击穿测试电路

2．硅二极管与锗二极管的判别检测

利用万用表的二极管挡测量二极管的正向压降（用 V_F 表示），并根据硅二极管与锗二极管正向压降的差异，可以区分硅二极管和锗二极管。具体方法是：将万用表置于二极管挡，红表笔接被测二极管的正极、黑表笔接负极，此时+3V 电源（万用表内部电池电源）向被测二极管提供大约 1mA 的正向电流，管子的正向压降 V_F 就作为仪表输入电压，若仪表显示 0.500～0.700V，则表明被测管为硅管，若显示 0.150～0.300V，则表明被测管为锗管。

以上是以小功率二极管为例说明测试方法的，对于大功率整流二极管，V_F 值可达 1V 以上。

3．稳压二极管的检测

（1）判定引脚的正、负极

从外形上看，金属封装的稳压二极管管体的正极一端为平面形，负极一端为半圆面形。塑封稳压二极管管体上印有彩色标记的一端为负极，另一端为正极。

对标志不清楚的稳压二极管，也可以用万用表判别其极性，识别方法与普通二极管相同，可利用 PN 结正、反向电阻不同的特性进行识别，实践中常用万用表的 R×1kΩ挡测量两引脚之间的电阻值，红、黑表笔对调后再测量一次。在两次测量结果中，阻值较小的一次，黑表笔所接引脚为稳压二极管正极、红表笔所接引脚为负极。

需要指出的是，有三只引脚的稳压二极管其外形类似三极管，但其内部是两只正极相连的稳压二极管。这种稳压二极管正、负极的识别方法与两只引脚的稳压管相同，只需测出公共极，另两只引脚均为负极。

（2）普通二极管与稳压二极管的判别

常见的稳压二极管有两只引脚，但也有少数稳压二极管为三只引脚（如 2DW7），除通过外壳的标志识别外，还可以利用万用表区分稳压二极管与普通二极管。具体方法是：用万用表 R×1kΩ挡，黑表笔接被测二极管负极、红表笔接正极，此时所测为 PN 结的反向电阻，阻值很大，表针不偏转。再将万用表转换到 R×10kΩ挡，此时表针如果向右偏转一定角度，说明被测二极管是稳压二极管；若表针不偏转，说明被测二极管可能不是稳压二极管。

以上方法仅适用于测量稳压值低于万用表 R×10k 挡电池电压的稳压二极管，如果其稳压值高于表内电池电压，表针也不会偏转，用上述方法也就不能区分被测二极管的类型了。

（3）稳压值的测量

用 0～30V 连续可调直流电源为稳压二极管提供测试电源。对于 13V 以下的稳压二极管，可将稳压电源的输出电压调至 15V，将电源正极串接 1 只 1.5kΩ限流电阻后与被测稳压二极管的负极相连接，电源负极与稳压二极管的正极相接，再用万用表测量稳压二极管两端的电压值，所测的读数即为稳压二极管的稳压值。若稳压二极管的稳压值高于 15V，则应将稳

压电源调到 20V 以上。

（4）性能的检测

用万用表 R×1kΩ挡测量稳压二极管的正、反向电阻，正常时反向电阻阻值较大；若发现表针摆动或其他异常现象，则说明被测稳压管性能不良甚至损坏。另外，用在路通电的方法也可以大致判别稳压管的好坏，具体方法是：用万用表直流电压挡测量稳压管两端的直流电压，若接近该稳压管的稳压值，说明该稳压二极管基本完好；若电压偏离标称稳压值太多或不稳定，则说明该二极管的性能不稳定。

4．发光二极管的检测

（1）普通发光二极管的检测

① 正、负极的判别。

发光二极管的管体一般都是用透明塑料制成的，所以可以用眼睛观察来区分它的正、负电极。具体做法是：将发光二极管放在一个光源下，从侧面仔细观察两条引出线在管体内的形状，通常较大的一端为负极，较小的一端为正极。

② 光、电特性的检测。

用万用表的 R×10kΩ挡对一只 220μF/25V 电解电容器充电（黑表笔接电容器正极，红表笔接电容器负极），再将充电后的电容器正极接发光二极管正极、电容器负极接发光二极管负极，若发光二极管有很亮的闪光，则说明该发光二极管完好。

如图 3-46 所示，利用 3V 稳压电源或两节串联的干电池及万用表可以较准确地测量发光二极管的光、电特性。如果测量二极管的正向压降 V_F 在 1.4～3V 之间，且发光亮度正常，则说明发光管的光、电特性良好。

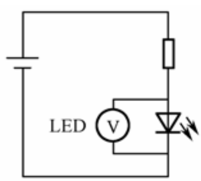


图3-46 发光二极管光电特性的检测

③ 发光二极管好坏的判别。

用万用表 R×10kΩ挡测量发光二极管的正、反向电阻值，正常时，二极管正向电阻阻值为十千欧至几十千欧、反向电阻为∞。较高灵敏度的发光二极管，在测量正向电阻值时，管内会发微光。若测得正向电阻值为 0 或为∞，反向电阻值很小或为 0，则说明被测二极管已损坏。

（2）红外发光二极管的检测

① 正、负极性的判别。

红外发光二极管有两个引脚，通常长引脚为正极，短引脚为负极。因红外发光二极管多采用透明树脂封装，所以管壳内的电极清晰可见；管内电极宽大的为负极，而电极窄小的为正极。另外，也可从管身形状来判断，通常靠近管身侧向小平面的电极为负极，另一端引脚为正极。

② 性能好坏的检测。

用万用表 R×10kΩ挡测量红外发光二极管的正、反向电阻。正常时，正向电阻值约为 15～40kΩ（此值越小越好），反向电阻大于 500kΩ。若测得正、反向电阻值均接近 0，则说明该二极管内部击穿损坏；若测得正、反向电阻值均为∞，则说明该二极管开路损坏；若测得反向电阻值远远小于 500kΩ，则说明该二极管漏电损坏。

（3）光敏二极管的检测

① 正、负极性的判别。

常见的光敏二极管外观颜色呈黑色，识别引脚时面对受光窗口，从左至右分别为正极和负极。另外，在光敏二极管的管体顶端有一个小斜切平面，通常带有此斜切平面一端的引脚为负极，另一端为正极。

② 红外光敏二极管的检测。

将万用表置于 R×1kΩ挡，测量红外光敏二极管的正、反向电阻值。正常时，正向电阻值（黑表笔所接引脚为正极）为 3～10kΩ之间，反向电阻值为 500kΩ以上。若测得其正、反向电阻值均为 0 或均为∞，则说明该二极管内部击穿或开路损坏。

在测量红外光敏二极管反向电阻值的同时，用电视机遥控器对着被测红外光敏二极管的接收窗口。正常的红外光敏二极管，在按动遥控器按键时，其反向电阻值会由 500kΩ以上减少至 50～100kΩ之间。阻值下降越多，

则说明红外光敏二极管的灵敏度就越高。

③ 其他光敏二极管的检测。

将万用表置于 50μA 或 500μA 电流挡，黑表笔接光敏二极管的负极，红表笔接光敏二极管的正极。正常的光敏二极管在白炽灯光下，随着光照强度的增加，其电流从几微安增大至几百微安。

除上述电流测量法外，还可采用电阻测量法进行检测，具体方法是：用黑纸或黑布遮住光敏二极管的光信号接收窗口，然后用万用表 R×1kΩ挡测量光敏二极管的正、反向电阻值。若测得正、反向电阻值均很小或均为无穷大，则说明被测二极管漏电或开路损坏。再去掉黑纸或黑布，使光敏二极管的光信号接收窗口对准光源，然后观察其正、反向电阻值的变化。正常时，正、反向电阻值均应变小，阻值变化越大，说明该光敏二极管的灵敏度越高。

（4）激光二极管的检测

① 各电极的判别。

用万用表的 R×1kΩ挡分别测出激光二极管三只引脚任意两引脚之间的阻值，总有一次两引脚之间的的阻值大约在几千欧左右，此时黑表笔所接的引脚为 PD 阳极端，红表笔所接的引脚为公共端，剩下的引脚为 LD 阳极端。

② 二极管好坏的检测。

激光二极管的 PD 部分实质上是一个光敏二极管，检测时用万用表 R×1kΩ挡测其正、反向电阻的阻值。正常时，正向电阻为几千欧，反向电阻为∞。若正向电阻为 0 或∞，则表明 PD 部分损坏；若反向电阻为几百千欧或上千千欧的电阻，则说明 PD 部分已反向漏电，管子质量变差或损坏。

检测激光二极管 LD 部分时，将万用表 R×1kΩ挡黑表笔接公共端、红表笔接阴极，正向电阻值应在 10～30kΩ之间，反向电阻值应为∞。若测得正向电阻值已超过 55kΩ，则说明 LD 部分的性能已下降；若测得正向电阻值大于 100kΩ，则说明该二极管已严重老化。

（5）变容二极管的检测

① 正、负极的判别。

有的变容二极管的一端涂有黑色标记，该端即是负极，而另一端为正

极。还有的变容二极管的管壳两端分别涂有黄色环和红色环，红色环的一端为正极，黄色环的一端为负极。

如果标记不清楚，还可采用万用表的二极管挡，通过测量变容二极管的正、反向电压降来判断出其正、负极性。在测量正向电压降时，红表笔接的是变容二极管的正极、黑表笔接负极。

② 性能好坏的检测。

将万用表置于 R×10kΩ挡，无论红、黑表笔怎样对调测量，变容二极管的两引脚之间的电阻值均应为∞。如果在测量中，发现万用表指针向右有轻微摆动或阻值为零，说明被测变容二极管漏电或已被击穿损坏。对于变容二极管容量消失或内部的开路性故障，用万用表是无法检测判别的。必要时，可用替换法进行检查判断。

（6）双基极二极管的检测

① 正、负极的判别。

将万用表置于 R×1kΩ挡，用两表笔测量双基极二极管三个电极中任意两个电极之间的正、反向电阻值，如果测出有两个电极之间的正、反向电阻值均在 1～10kΩ之间，则这两个电极就是两个基极（假设为基极 1 和基极 2），另一个电极则是发射极。

找到发射极后，将黑表笔接发射极，红表笔接两个基极分别进行测量，在两次测量中，测得电阻较大的一次，红表笔所接的是基极 1、另一个电极即是基极 2（在电路符号中就是靠近发射极的那个基极）。

② 性能好坏的检测。

用万用表 R×1kΩ挡，将黑表笔接发射极，红表笔依次接两个基极，正常时均应有几千欧至十几千欧的电阻值。再将红表笔接发射极，黑表笔依次接两个基极，正常时阻值为∞。双基极二极管两个基极之间的正、反向电阻值均在 1～10kΩ范围之内。如果测得某两极之间的电阻值与上述所测的正常值范围相差较大，则说明该双基极二极管性能不良或损坏。

（7）双向触发二极管的检测

① 转折电压的检测。

如图 3-47 所示，用 0～50V 连续可调直流电源，将电源的正极串接 1 只 20kΩ电阻器后与双向触发二极管的一端相接，电源的负极串接万用表电

流挡（将其置于 1mA 挡）后与双向触发二极管的另一端相接。逐渐增加电源电压，当电流表指针有较明显摆动时（几十微安以上），则说明此双向触发二极管已导通，此时电源的电压值即是双向触发二极管的转折电压。

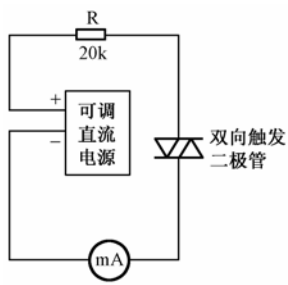


图3-47　双向触发二极管转折电压的检测电路

② 性能好坏的检测。

将万用表置于 R×1kΩ挡，测量双向触发二极管的正、反向电阻值均应为∞。若交换表笔进行测量，测得的阻值慢慢变小，则说明被测二极管漏电；若测得正、反向电阻值均很小或为 0，则说明该二极管已被击穿损坏。

3.6　晶体三极管

晶体三极管（Triode transistor）又称半导体三极管，简称三极管，常用字母“DG”或“T”字表示。晶体三极管是内部含有 2 个 PN 结，能起放大、振荡及开关等作用的半导体器件。其中，电流放大的作用实质上是三极管能以基极电流微小的变化量来控制集电极电流较大的变化量的一种特性，它是三极管最基本和最重要的特性。

晶体三极管有饱和、截止及放大三种工作状态。

饱和状态：当加在三极管发射结的电压大于 PN 结的导通电压，并当基极电流增大到一定程度时，集电极电流处于某一定值附近，三极管失去电流放大作用，集电极与发射极之间相当于开关的“导通”状态，此时三极管处于“饱和导通”状态。

截止状态：当加在三极管发射结的电压小于 PN 结的导通电压时，基

极、集电极和发射极电流均为零，三极管失去电流放大作用，集电极和发射极之间相当于开关的“断开”状态，此时三极管处于“截止”状态。

放大状态：当加在三极管发射结的电压大于 PN 结的导通电压，并处于某一恰当的值时，三极管的发射结正向偏置、集电结反向偏置，此时基极电流对集电极电流起控制作用，使三极管具有“电流放大”作用，三极管处于“放大”状态。

3.6.1　晶体三极管的分类

在实际应用中，从不同的角度对三极管有不同的分类方法。

（1）按半导体材料和极性分类

按晶体三极管使用的半导体材料可分为硅管和锗管。按晶体三极管的极性分锗 NPN 型管、锗 PNP 型管、硅 NPN 型管和硅 PNP 型管。

（2）按结构及制造工艺分类

晶体三极管按其结构及制造工艺可分为合金型三极管和平面型三极管。

（3）按电流容量分类

晶体三极管按电流容量可分为小功率管、中功率管和大功率管。

（4）按工作频率分类

晶体三极管按工作频率可分为低频管、高频管和超高频管。

（5）按封装结构分类

晶体三极管按封装结构可分为金属封装、塑料封装、玻璃壳封装、表面封装（片状）和陶瓷封装等。

（6）按功能和用途分类

晶体三极管按功能和用途可分为放大管、开关管、达林顿三极管、带阻三极管、带阻尼三极管、光敏三极管、BJT 模块等。其中，放大管又分低噪声放大三极管、中高频放大三极管和低频放大三极管。

（7）按放大原理分类

晶体三极管按放大原理可分为双极性三极管 BJT（Bipolar Junction Transistor）和单极性三极管 MOS/MES（ Metal Oxide Semiconductor / Metal Semiconductor）。其中，双极性三极管按工艺的不同又可分为同质结 BJT

和异质结 BJT。

3.6.2 晶体三极管的命名

1. 国产三极管型号的命名方法

我国三极管型号由四部分组成，各部分的意义如下：

第一部分：用数字表示三极管的有效电极数目，“3”表示三极管。

第二部分：用汉语拼音字母表示三极管的材料和极性。其中，A 表示 PNP 型锗材料三极管，B 表示 NPN 型锗材料三极管；C 表示 PNP 型硅材料三极管、D 表示 NPN 型硅材料三极管；E 表示化合材料三极管。

第三部分：用汉语拼音字母表示三极管的用途或类型。P——普通管；V——微波管；N——阻尼管；K——开关管；X——低频小功率管（f<3MHz；P_c<1W）、G——高频小功率管（f>3MHz，P_c<1W）；D——低频大功率管（f<3MHz，P_c>1W）；A——高频大功率管（f>3MHz，P_c>1W）。

第四部分：用数字表示三极管的序号。

例如，3DGXX 就表示序号为“XX”的 NPN 型硅材料高频小功率三极管。

2. 日本三极管型号的命名方法

日本晶体三极管的型号也由四部分组成，其型号反映出管子是 PNP 型还是 NPN 型，是高频管还是低频管，但不反映是硅管还是锗管。四个部分的含义如下：

第一部分：该部分用 2 表示，表示三极管具有 2 个 PN 结。

第二部分：该部分用 S 表示，JEIA 是日本电子工业协会的注册标志，S——表示已在日本电子工业协会 JEIA 注册登记的半导体分立器件。

第三部分：该部分一般用 A、B、C、D 字母来表示管子的极性和类型。A、B 为 PNP 型管，C、D 为 NPN 型管。其中 A、C 多为高频管，B、D 多为低频管。但也有例外的特殊情况，使用时应予以注意。

第四部分：该部分一般采用两位以上的阿拉伯数字，用来表示注册登记的顺序号。一般来讲，数字越大，越是近期产品。但对于连续号码的管

子，其性能不一定完全相似。另外，数字后若跟有英文字母，则表示该三极管是原型号的改进产品，如 2SA983。

3．美国三极管型号的命名方法

美国生产的三极管型号命名方法与日本有相似之处。其特点为用 2N 开头，2 也表示 2 个 PN 结，N 表示美国电子工业协会注册标志，型号的第三部分与日本不同，不表示极性和类型，而像日本三极管第四部分那样，用数字表示注册登记的序号。美国型号比日本型号简单，因而型号中不能反映出管子的硅、锗材料，PNP 和 NPN 极性，高、低频管和特性，只能从 2N 开头的型号上识别出是美国生产或其他国家生产美国型号的三极管。

4．欧洲三极管型号的命名方法

欧洲的许多国家命名三极管型号的方法都差不多。型号直接用字母 A、B 开头，A 表示锗管，B 表示硅管。在第二部分字母中用 C、D 表示低频管；F、L 表示高频管。其中，C、F 为小功率管；D、L 为大功率管。用 S 和 U 分别表示小功率开关管和大功率开关管。型号的第三部分用三位数表示登记顺序号。

除了上述三极管的命名方法外，韩国三星电子公司（SAMSUNG）生产的三极管，在我国市场上也较多见。它是以四位数字来表示型号的，如 9011、9012、9018 等。

3.6.3　晶体三极管的参数

三极管的主要参数包括电流放大系数、极间反向电流、频率参数和极限参数，它反映了三极管各种性能的指标，是选用三极管的依据。

1．电流放大系数

电流放大系数，又称电流放大倍数，它是用来表示晶体三极管放大能力的指标。根据三极管工作状态的不同，电流放大系数又分为直流放大系数和交流放大系数。

（1）直流放大系数

直流放大系数，又称静态电流放大系数或直流放大倍数，是指在静态无变化信号输入时，三极管集电极电流 I_C 与基极电流 I_B 或发射极电流 I_E 的比值，一般用 $\overline{\beta}$ 或 $\overline{\alpha}$ 表示。

① 共发射极直流放大系数 $\overline{\beta}$，它表示三极管在共射极连接时，某工作点处直流电流 I_C 与 I_B 的比值。

② 共基极直流放大系数 $\overline{\alpha}$，表示三极管在共基极连接时，某工作点处 I_C 与 I_E 的比值。

（2）交流放大系数 β（或 h_{FE}）

交流放大系数，又称动态电流放大系数或交流放大倍数，是指在交流状态下，三极管集电极电流变化量；I_C 与基极电流变化量；I_B 或发射极电流变化量 I_E 的比值，一般用 β 或 α 表示。

一般三极管的 β 值大约在 10～200 之间，如果 β 太小，电流放大作用差；如果 β 太大，电流放大时间虽然长，但性能往往不稳定。

① 共发射极交流放大系数 β，它表示三极管共射极连接，且 U_{CE} 恒定时，I_C 与 I_B 的变化量之比。

② 共基极交流放大系数 α，它表示三极管共基极连接时，在 U_{CB} 恒定的情况下，I_C 与 I_E 的变化量之比。

2．极间反向电流

晶体三极管的极间反向电流包括集电极−基极之间的反向电流 I_{CBO}、集电极−发射极之间的反向穿透电流 I_{CEO} 和发射极−基极反向电流 I_{EBO}。

（1）集电极−基极反向电流 I_{CBO}

I_{CBO} 是指集电结反向漏电电流，它是发射极开路，在集电极与基极之间加上一定的反向电压时，所对应的反向电流。I_{CBO} 仅与温度有关，在一定温度下是个常量，所以又称为集电极−基极的反向饱和电流。

随着温度的升高 I_{CBO} 将增大，它是三极管工作不稳定的主要因素。此值越小，说明三极管的温度特性越好。在相同环境温度下，硅管的 I_{CBO} 比锗管的 I_{CBO} 小得多。

（2）集电极−发射极反向穿透电流 I_{CEO}

I_{CEO} 是指集电极−发射极之间的反向穿透电流，它是三极管的基极开路，集电极与发射极之间加一定反向电压时的集电极电流。

I_{CEO} 与 I_{CBO} 一样，也是衡量三极管热稳定性的重要参数。此电流值越小，说明三极管的性能越好。

（3）发射极−基极反向电流 I_{EBO}

I_{EBO} 又称发射结反向饱和电流，它是指三极管的集电极开路时，在发射极与基极之间加上规定的反向电压时发射极的电流。

3．频率参数

频率参数是反映三极管电流放大能力与工作频率关系的参数，它表征三极管的频率适用范围。若三极管超过了其工作频率范围，则会出现放大能力减弱甚至失去放大作用的现象。

三极管的频率参数主要包括截止频率 f_β 和 f_α、特征频率 f_T 和最高振荡频率 f_M 等。

（1）截止频率 f_β 和 f_α

截止频率 f_β 或 f_α 是表明三极管频率特性的重要参数。当β下降到低频时的 0.707 倍的频率，就是共发射极的截止频率 f_β；当α下降到低频时的 0.707 倍的频率，就是共基极的截止频率 f_α。

（2）特征频率 f_T

当三极管的工作频率超过截止频率时，其电流放大系数β值将随着频率的升高而下降。特征频率是指β值降为 1 时三极管的工作频率。

通常将 f_T 小于或等于 3MHz 的三极管称为低频管，将 $f_T > 3$MHz、小于 30MHz 的三极管称为中频管，将 f_T 大于或等于 30MHz 的三极管称为高频管。

（3）最高振荡频率 f_M

最高振荡频率 f_M 是指三极管的功率增益降为 1 时所对应的频率。

4．极限参数

（1）耗散功率 P_{CM}

耗散功率 P_{CM}，又称最大允许集电极耗散功率，是指三极管集电结受热而引起晶体管参数的变化不超过所规定的允许值时集电极耗散的最大功率。

P_{CM} 与三极管的最高允许结温和集电极最大电流有密切的关系。三极管在使用时，其功耗不允许超过 P_{CM} 值，否则会使管子的参数发生变化，甚至还会烧坏管子。

（2）集电极最大电流 I_{CM}

集电极最大电流，是指三极管集电极所允许通过的最大电流。一般规定在β值下降到额定值的 2/3 或 1/2 时所对应的集电极电流为 I_{CM}。当三极管的集电极电流 I_C 超过 I_{CM} 时，三极管的β值等参数将发生明显变化，影响其正常工作，甚至还会损坏。

（3）最大反向电压

最大反向电压又称反向击穿电压，是指三极管在工作时所允许施加的最高工作电压。它包括集电极−发射极反向击穿电压、集电极−基极反向击穿电压和发射极−基极反向击穿电压。

① 集电极−发射极反向击穿电压 BV_{CEO}，是指当三极管基极开路时，加在其集电极与发射极之间的最大允许反向电压。

② 发射极−基极反向击穿电压 BV_{EBO}，是指当三极管集电极开路时，加在其发射极与基极之间的最大允许反向电压。

③ 集电极−基极反向击穿电压 BV_{CBO}，是指当三极管发射极开路时，加在其集电极与基极之间的最大允许反向电压。

3.6.4　晶体三极管的结构与符号

1．普通三极管的结构与符号

普通三极管的内部结构如图 3-47 所示，它是由两个相距很近的 PN 结组成的，一般都有三个电极，即发射极 E、基极 B 和集电极 C。三个电极分别与三极管内部半导体的三个区（发射区、基区和集电区）相接，发射

区与基区之间的 PN 结称为发射结，集电区与基区之间的 PN 结称为集电结。基区很薄，而发射区较厚，杂质浓度较大。PNP 型三极管发射区“发射”的是空穴，其移动方向与电流方向一致，故发射极箭头向内；NPN 型三极管发射区“发射”的是自由电子，其移动方向与电流方向相反，故发射极箭头向外。实际上发射极箭头所指的方向也是 PN 结在正向电压下的导通方向。晶体三极管的内部结构如图 3-48 所示；电路符号如图 3-49 所示。

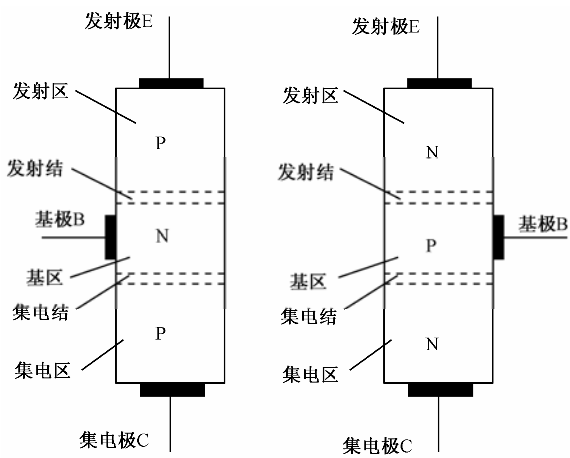


图3-48　晶体三极管的内部结构

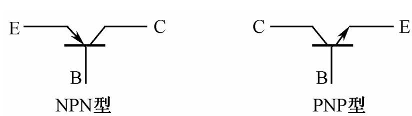


图3-49　晶体三极管的电路符号

2．其他特殊三极管的结构与符号

（1）达林顿三极管

达林顿三极管 DT（Dar1ington Transistor）又称复合晶体三极管，其外形如图 3-50 所示。

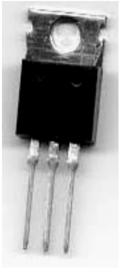


图3-50　达林顿三极管的外形

达林顿管又分为普通达林顿管和大功率达林顿管。普通达林顿管的基本电路如图 3-51 所示，它是采用复合过接方式，将两只或更多只三极管的集电极连在一起，而将第一只三极管的发射极直接耦合到第二只三极管的基极，依次级连而成，最后引出 E、B、C 三个电极。达林顿管总放大系数是各分管放大系数的乘积。

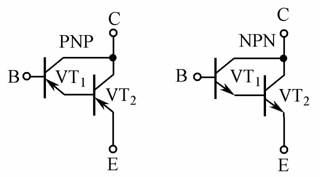


图3-51　达林顿三极管的内部电路结构

大功率达林顿管在普通达林顿管的基础上，增加了由泄放电阻和续流二极管组成的保护电路，稳定性较高，驱动电流更大。图 3-52 是大功率达林顿管的内部电路结构。

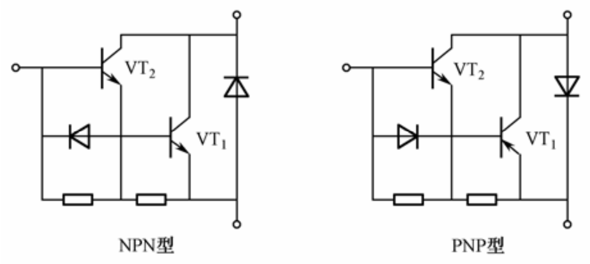


图3-52　大功率达林顿管的内部电路结构

（2）带阻三极管

带阻三极管 RT（Resistive Transistors），是将三极管与工作时所需要的电阻封装在一起的三极管，它一般采用片状塑封形式。带阻三极管的外观结构与普通三极管并无多大区别，其内部电路结构如图 3-53 所示。

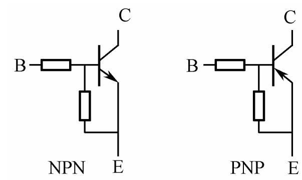


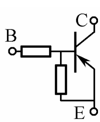
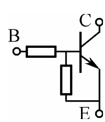
图3-53　带阻三极管的内部电路结构

带阻三极管为中速开关管，在电路中使用时可看做一个电子开关。当状态转换三极管饱和导通时 I_C 很大，CE 间输出电压很低，相当于“连通”状态；当状态转换三极管截止时，I_C 很小，CE 间输出电压很高，相当于“断开”状态。电阻的作用是控制管子的导通深度和减小截止电流。

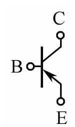
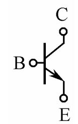
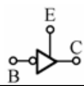
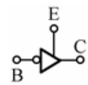
带阻三极管目前尚无统一的标准符号，在不同厂家的电子器件产品中电路图形符号及文字符号的标注方法也不一样，如表 3-3 所示。

例如，日立、松下等公司的产品中常用字母“QR”来表示，东芝公司用字母“RN”来表示，飞利浦及 NEC（日电）等公司用字母“Q”表示，还有的厂家用“IC”表示，国内电子产品中可以使用晶体三极管的文字符号，即用字母“V”或“VT”来表示。

表 3-3　带阻三极管电路图形符号及文字符号的标注方法

公　　司	电路图形符号	
	PNP 型	NPN 型
松下、东芝		

续表

公　　司	电路图形符号	
	PNP 型	NPN 型
三洋、日电		
夏普、飞利浦、富立		

（3）光敏三极管

光敏三极管在电路中的文字符号与普通三极管相同，用字母“V”或“VT”表示。如图 3-54 所示是光敏三极管的电路图形符号，它有塑封、金属封装（顶部为玻璃镜窗口）、环氧树脂、陶瓷等多种封装结构，引脚也分为两脚型和三脚型。

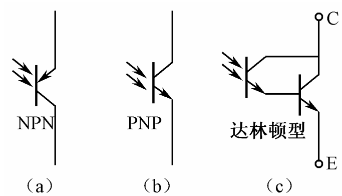


图3-54　光敏三极管的电路图形符号

（4）BJT 模块

BJT 模块是将两个或两个以上三极管按一定的电路结构相连接，用 RTV、弹性硅凝胶、环氧树脂等保护材料，密封在一个绝缘的外壳内，并且与导热底板相绝缘而成的器件。

3.6.5　晶体三极管的选用

目前，国内各种类型的晶体三极管有许多，引脚的排列不尽相同，因此，在使用中必须进行测量，以确定各引脚正确的位置，或查找晶体管使

用手册，明确三极管的特性及相应的技术参数和资料。

1．晶体三极管的使用经验

① 使用三极管时，不得有两项以上的参数同时达到极限值。

② 焊接时，应使用低熔点焊锡。引脚引线不应短于 10mm，焊接动作要快，每根引脚焊接时间不应超过 2s。

③ 三极管在焊入电路时，应先接通基极，再接入发射极，最后接入集电极。拆下时，应按相反的顺序，以免烧坏管子。在电路通电的情况下，不得断开基极引线，以免损坏管子。

④ 使用三极管时要固定好，以免因振动而发生短路或接触不良，并且不应靠近发热元件。

⑤ 功率三极管应加装足够大的散热器。

2．晶体三极管的代换经验

在修理中需要一只三极管，而又找不到同型号的管子时，可按以下方法和步骤进行代换。

（1）弄清楚三极管的类型及材料

常用三极管的类型有 NPN 型和 PNP 型两种，由于这两类三极管工作时对电压的极性要求不同，所以它们是不能相互代换的。

三极管的材料有锗材料和硅材料，它们之间最大的差异就是导通电压不一样。通常在放大电路中不同材料的三极管能进行互换，但注意要在基极偏置电压上进行必要的调整。需要指出的是，在脉冲电路和开关电路中不同材料的三极管是否能互换，必须具体分析，不能盲目代换。

（2）三极管主要参数的选择

弄清楚三极管的类型及材料后，还应了解三极管的主要参数。国产及国外生产的三极管型号较多，它们的参数有一部分是相同的，而有一部分是不同的。只要根据以下分析的“使用条件”，本着“大能代小”的原则，即可对三极管应用自如。

三极管特征频率 f_T 的选择可根据电路的实际工作频率来决定，一般情况下，只要三极管的 f_T 大于实际工作频率的 3 倍即可。由于硅材料高频三

极管的 f_T 一般不低于 50MHz，所以在音频电子电路中使用这类管子可不考虑 f_T 这个参数。

三极管集电极−发射极反向击穿电压 BV_{CEO} 的选择可以根据电路的电源电压来决定，通常只要 BV_{CEO} 大于电路中电源的最高电压即可。一般小功率三极管的 BV_{CEO} 均不低于 15V，对于无电感元件的低电压电路一般可以不予考虑。但对于负载是感性负载（如变压器、线圈等）的管子，BV_{CEO} 数值的选择要慎重。

选择三极管 I_{CM} 时，首先应了解电路中继电器的吸合电流大概是多少，以此再来确定三极管的 I_{CM}。一般小功率三极管的 I_{CM} 在 30～50mA 之间，对于小信号电路可以不予考虑。

3．其他特殊三极管的选用

（1）开关三极管的选用

小电流开关电路和驱动电路中使用的开关三极管，其最高反向电压低于 100V、耗散功率低于 1W、最大集电极电流小于 1A；大电流开关电路和驱动电路中使用的开关三极管，其最高反向电压大于或等于 100V、耗散功率高于 30W、最大集电极电流大于或等于 5A； 开关电源等电路中使用的开关三极管，其耗散功率大于或等于 50W、最大集电极电流大于或等于 3A、最高反向电压高于 800V。

（2）达林顿管的选用

达林顿管广泛应用于音频功率输出、开关控制、电源调整、继电器驱动、高增益放大等电路中。 继电器驱动电路与高增益放大电路中使用的达林顿管，可以选用不带保护电路的中、小功率普通达林顿晶体管。而音频功率输出、电源调整等电路中使用的达林顿管，可选用大功率、大电流型普通达林顿晶体管或带保护电路的大功率达林顿晶体管。

（3）带阻三极管的选用

带阻三极管常用在录像机、彩电中。它把三极管和工作时所需要的电阻封装在一起。应注意其内阻对读数的影响。特别要指出的是：这种三极管不能作为普通三极管使用，而只能是“专管专用”，这是因为不同的管子里面配置电阻的方法、数量及阻值是不同的。所以带阻三极管损坏后，

也必须用同型号管代换而不能拿普通的三极管简单代换。不得已时，也要用性能相近的三极管配上合适的电阻后替换。

（4）光敏三极管的选用

光敏三极管和其他三极管一样，不允许其电参数超过最大值（如最高工作电压、最大集电极电流和最大允许功耗等），否则会缩短光敏三极管的使用寿命甚至烧毁三极管。另外，所选用的光敏三极管的光谱响应范围必须与入射光的光谱特性相互匹配，以获得最佳的响应效果。

3.6.6 晶体三极管的检测

1．三极管类型与引脚的判别

三极管类型与引脚的判别，可通过指针式万用表的电阻挡和数字式万用表的二极管挡进行测试，具体方法如下：

（1）三极管基极的判别

将指针式万用表置 R×100Ω挡或 R×1kΩ挡，测量三极管三个电极中每两个电极之间的正、反向电阻值。当用第一支表笔接某一电极，而第二支表笔先后接触另两个电极均测得低阻值时，则第一支表笔所接的那个电极为基极 B。

（2）三极管类型的判别

将指针式万用表置 R×1kΩ挡，用黑表笔接三极管的基极，再用红表笔分别接另两个引脚。若表针指示的两个阻值均很大，则表明被测三极管为 PNP 型。反之，如果表针指示的两个阻值均很小，则表明被测三极管为 NPN 型。

（3）三极管集电极与发射极的判别

三极管发射极 E 与集电极 C 两边的掺杂浓度不一样，正确使用时三极管的放大能力强；反之，若三极管的 E 极和 C 极使用错误，则管子的放大能力弱。根据这一点，即可将管子的 E、C 极区别开来。

① 对于 NPN 型三极管，将万用表置 R×100Ω或 R×1kΩ挡，用黑、红表笔颠倒测量三极管两极间的正、反向电阻，在两次测量中万用表指针偏转角度均很小，但仔细观察，总会有一次万用表指针偏转角度稍大，此时

黑表笔所接的为集电极 C，红表笔所接的是发射极 E。

对于 PNP 型三极管，按上述方法进行测试，黑表笔所接的为发射极 E、红表笔所接的是集电极 C。

② 对于 NPN 型三极管，则将数字式万用表拨至 h_{FE} 挡，使用 NPN 插孔。将基极 B 固定插在 B 孔不变，集电极 C 与发射极 E 调换复测 1～2 次，以仪表显示值大（几十至几百）的一次为准，C 孔插的引脚即是集电极 C，E 孔插的引脚则是发射极 E。对于 PNP 型三极管，其检测步骤同上，但必须使用 h_{FE} 挡的 PNP 插孔。

2．三极管性能好坏的检测

对于已知类型和引脚排列的三极管，可按下述方法来判断其性能的好坏。

（1）反向击穿电流 I_{CEO} 的检测

普通晶体三极管的 I_{CEO} 可通过测量三极管发射极 E 与集电极 C 之间的电阻值来进行估测。测量时，将万用表置 R×1kΩ挡，NPN 型管的集电极 C 接黑表笔，发射极 E 接红表笔；PNP 管的集电极 C 接红表笔，发射极 E 接黑表笔。若测量三极管 C、E 极之间的电阻值偏小，则表明被测管子的漏电流较大；若测得 C、E 极之间的电阻值接近零，则说明其 C、E 极之间已击穿损坏；如果 C、E 极之间的电阻值随着管壳温度的增高而变小很多，则说明该管的热稳定性不良。

也可以用晶体管直流参数测试表的 $\mathrm{I_{CEO}}$ 挡来测量三极管的反向穿透电流，具体做法是：将“$\mathrm{h_{FE}/I_{CEO}}$”选择开关置于 $\mathrm{I_{CEO}}$ 挡，选择三极管的极性，将被测管的三个引脚插入测试孔，再按下 $\mathrm{I_{CEO}}$ 键，即可从表中读出被测三极管的 I_{CEO} 值。

（2）反向击穿电压 BV_{CEO} 的检测

使用晶体管直流参数测试表的 V（BR）测试功能，即可测得三极管的反向击穿电压。测量时，先选择被测三极管的极性，再将三极管插入测试孔，按动相应的 V（BR）键，即可从表中读出被测三极管的 BV_{CEO} 值。

（3）放大能力 β 的检测

晶体三极管的放大能力可以用万用表的 h_{FE} 挡进行测量。测量时，先

将万用表置于 ADJ 挡进行调零后，再拨至 h_{FE} 挡，将被测晶体管的 C、B、E 三个引脚分别插入相应的测试插孔中，即可从 h_{FE} 刻度线上读出管子的放大倍数。

若万用表无 h_{FE} 挡，也可使用万用表的 R×1kΩ挡来估测三极管的放大能力，具体方法是：对于 PNP 型管，将黑表笔接 E、红表笔接 C，再在 B、C 极之间并接 1 只电阻（硅管为 100kΩ、锗管为 20kΩ），然后观察万用表的阻值变化情况。万用表指针摆动幅度越大，说明三极管的放大能力越强。如果万用表指针不变或摆动幅较小，则说明三极管无放大能力或放大能力较差。对于 NPN 型管，测试时应将黑表笔接 C、红表笔接 E，具体测试方法与 PNP 型管相同。

3．特殊三极管性能好坏的检测

（1）达林顿管的检测

① 普通达林顿管的检测。

将万用表置 R×1kΩ挡或 R×10kΩ挡，测量达林顿管各电极之间的正、反向电阻值。正常时，C-B 极之间的正向电阻为 3～10kΩ（测量 NPN 型管时黑表笔接基极 B、测量 PNP 管时黑表笔接集电极 C），反向电阻为无穷大；E-B 极之间的正向电阻是 C-B 极之间正向电阻的 2～3 倍（测量 NPN 型管时黑表笔接基极 B、测量 PNP 型管时黑表笔接发射极 E），反向电阻值为无穷大；C-E 极之间的正、反向电阻值均接近无穷大。若测得 C-E 极或 B-E 极、B-C 极之间的正、反向电阻值均接近零，则说明该管已击穿损坏；反之，若测得为无穷大，则说明该管已开路损坏。

② 大功率达林顿管的检测。

用万用表 R×1k 挡或 R×10k 挡，测量达林顿管 C-B 极之间的正、反向电阻值。正常时，正向电阻值（NPN 型管的基极接黑表笔时）为 1～10kΩ，反向电阻值应接近无穷大。若测得 C-B 极的正、反向电阻均很小或均为无穷大，则说明该管已击穿短路或开路损坏。

用万用表 R×100Ω挡，测量达林顿管 E-B 极之间的正、反向电阻值。正常时均为几百欧姆至几千欧姆，若测得阻值为零或无穷大，则说明被测管已损坏。

用万用表 R×1k 挡或 R×10k 挡，测量达林顿管 E-C 极之间的正、反向电阻值。测量 NPN 管时，黑表笔接发射极 E、红表笔接集电极 C；测量 PNP 型管时，黑表笔接集电极 C、红表笔接发射极 E。正常时，正向电阻值为 5～15kΩ，反向电阻为无穷大。否则，说明被测管的 C-E 极（或二极管）击穿或开路损坏。

（2）带阻三极管的检测

因带阻三极管的内部含有一只或两只电阻，故检测的方法与普通三极管略有不同。检测前应先了解管内电阻的阻值。

测量时，将万用表置于 R×1k 挡，对于 NPN 型管，黑表笔接 C 极、红表笔接 E 极；对于 PNP 型管，黑表笔接 E 极、红表笔接 C 极。正常时，测量集电极 C 与发射极 E 之间的正向电阻应为无穷大，且在测量的同时，若将三极管的基极 B 与集电极 C 之间短接后，则应有小于 50kΩ的电阻值。否则，说明被测三极管不良。

另外，可通过测量带阻三极管 B-E 极和 C-B 极之间的正、反向电阻值，来估测三极管是否损坏。测量时，红、黑表笔分别接 B、C 和 B、E 极测出一组数字，对调表笔测出第二组数字，其数值均较大时表明该管良好。

（3）带阻尼三极管的检测

用万用表 R×1k 挡，通过单独测量带阻尼三极管各电极之间的电阻值，即可判断其是否正常。具体方法如下：

① 将红表笔接 E、黑表笔接 B，此时相当于测量大功率管 B-E 结的等效二极管与保护电阻 R 并联后的阻值，由于等效二极管的正向电阻较小，而保护电阻 R 的阻值一般也仅有 20～50Ω，所以二者并联后的阻值也较小；反之，将表笔对调，即测得的是大功率管 B-E 结等效二极管的反向电阻值与保护电阻 R 的并联阻值，由于等效二极管反向电阻值较大，所以此时测得的阻值即是保护电阻 R 的值，此值仍然较小。

② 将红表笔接 C、黑表笔接 B，此时相当于测量管内大功率管 B-C 结等效二极管的正向电阻，一般测得的阻值为 3～10kΩ；将红、黑表笔对调，则相当于测量管内大功率管 B-C 结等效二极管的反向电阻，测得的阻值通常为无穷大。若测得正、反向电阻值均为零或无穷大，则说明被测管的集电结已击穿损坏或开路损坏。

③ 将红表笔接 E、黑表笔接 C，相当于测量管内阻尼二极管的反向电阻，测得的阻值一般为无穷大；将红、黑表笔对调，则相当于测量管内阻尼二极管的正向电阻，测得的阻值一般都较小。若测得 C-E 极间的正反向电阻值均很小，则说明被测管的 C-E 极之间短路或阻尼二极管击穿损坏；若测得 C-E 极之间的正反向电阻值均为无穷大，则说明阻尼二极管开路。

带阻尼三极管的反向击穿电压可以用晶体管直流参数测试表进行测量，其方法与普通三极管相同。需指出的是，带阻尼三极管的放大能力不能用万用表的 h_{FE} 挡直接测量，因为其内部有阻尼二极管和保护电阻器。测量时可在行输出管的集电极 C 与基极 B 之间并接一只 30kΩ的电位器，然后再将三极管各电极与 h_{FE} 插孔连接。适当调节电位器的电阻值，并从万用表上读出β 值。

④ 光敏三极管的检测。

光敏三极管只有集电极 C 和发射极 E 两个引脚，基极 B 为受光窗口。通常，较长（或靠近管键的一端）的引脚为 E 极，较短的引脚为 C 极（达林顿型光敏三极管封装缺圆的一侧为 C 极）。检测时，将光敏三极管的受光窗口用黑纸或黑布遮住，再将万用表置 R×1k 挡，红表笔和黑表笔分别接光敏三极管的两个引脚，正常时正、反向电阻均为无穷大。若测出一定阻值或阻值接近 0Ω，则说明被测管内部击穿短路或漏电。在暗电阻测量状态下，若将遮挡受光窗口的黑纸或黑布移开，将受光窗口靠近光源，正常时应有 15～30kΩ的电阻值，否则说明光敏三极管已开路损坏或灵敏度偏低。

3.7　场效应晶体管

场效应晶体管的英文全称为 Field-Effect Transistor，简称 FET，它是三个引脚的元件，其三个引脚分别为栅极（G 极，Gate），源极（S 极，Source）和漏极（D 极，Drain）。场效应晶体管是由多数载流子参与导电的晶体管，又称为单极型晶体管，属于电压控制型半导体器件，具有输入电阻高、噪声小、功耗低、动态范围大、易于集成、没有二次击穿和安全工作区域宽

等优点。它主要应用于以下几个方面：

（1）场效应晶体管可用于放大。由于场效应晶体管放大器的输入阻抗很高，因此，可以使用容量较少的耦合电容，不必使用电解电容器。

（2）场效应晶体管很高的输入阻抗非常适合作阻抗变换。常用于多级放大器的输入级作为阻抗变换。

（3）场效应晶体管可以用做可变电阻。

（4）场效应晶体管可以方便地作为恒流源。

（5）场效应晶体管可以作为电子开关用。

3.7.1 场效应晶体管的分类

场效应晶体管按结构一般分结型、绝缘栅型两大类；按沟道半导体材料的不同，结型和绝缘栅型又分 N 沟道和 P 沟道两种；若按导电方式来划分，场效应晶体管又可分成耗尽型与增强型。结型场效应晶体管均为耗尽型，绝缘栅型场效应晶体管既有耗尽型的，也有增强型的。具有两个 PN 结的场效应晶体管称为结型场效应晶体管（Junction Field-Effect Transistor 简称为 JFET），栅极与其他电极完全绝缘的场效应晶体管称为绝缘栅型场效应晶体管（简称为 JGFET）。绝缘栅型场效应晶体管又分为增强型和耗尽型两种，在正常情况下导通的场效应晶体管称为耗尽型场效应晶体管，在正常情况下断开的场效应晶体管称为增强型场效应晶体管。

增强型场效应晶体管的特点是：当 V_{gs}（栅-源极电压）=0 时，I_d（漏极电流）=0，只有当 V_{gs} 增加到某一值时才开始导通，有漏极电流产生，并称开始出现漏极电流时的栅源电压 V_{gs} 为开启电压。耗尽型场效应晶体管的特点是：在正或负的栅源电压（正或负偏压）下工作，而且栅极上基本无栅流（非常高的输入电阻）。目前在绝缘栅型场效应晶体管中，应用最为广泛的是金属氧化物半导体场效应晶体管（MOSFET）。

此外，还有 PMOS、NMOS 和 VMOS 功率场效应晶体管，以及最近刚问世的πMOS 场效应晶体管、VMOS 功率模块等等。VMOS 场效应晶体管（VMOSFET）简称 VMOS 管或功率场效应晶体管，其全称为 V 型槽 MOS 场效应晶体管。它是继 MOSFET 之后新发展起来的高效、高功率开关器件。它不仅继承了 MOS 场效应晶体管输入阻抗高（不小于 108Ω）、

驱动电流小（0.1μA 左右）的特点，还具有耐压高（最高 1200V）、工作电流大（1.5～100A）、输出功率高（1～250W）、跨导的线性好、开关速度快等优良特性。在电压放大器（电压放大倍数可达数千倍）、功率放大器、开关电源和逆变器中得到了广泛应用。

VMOS 场效应功率管具有极高的输入阻抗及较大的线性放大区等优点，尤其是它具有负的电流温度系数，即在栅−源电压不变的情况下，导通电流会随管温升高而减少，故一般不存在由于“二次击穿”现象所引起的管子损坏现象。

另外，在 20 世纪 90 年代初期，在功率 MOSFET 的基础上发展起来了一种绝缘栅双极晶体管（IGBT），它本质上也是一个场效应晶体管，只是在漏极和漏区之间多了一个 P 型层。根据国际电工委员会的文件建议，其各部分名称基本沿用场效应晶体管的相应命名，本书也划入了场效应晶体管之内。

IGBT 根据其结构又可分为平面栅穿通型 IGBT、精密平面栅穿通型 IGBT、沟槽栅 IGBT、非穿通型 IGBT、电场截止型 IGBT、逆导型 IGBT、注入增强型 IGBT（IEGT）、高频型 IGBT 和双向型 IGBT。

根据不同生产企业的分类标准，IGBT 的演变过程又分为五代，即

第一代，平面栅（简称 PT）型 IGBT。它是 IGBT 的原型产品，在功率 MOS 场效应晶体管结构中引入一个漏极侧 PN 结，以提供正向注入少数载流子而实现电导调制来降低通态压降的 IGBT，这时的 IGBT 电压还比较低（一般在 600V 左右）。

第二代，平面栅穿通（PT）型 IGBT。这时的 IGBT 耐压可达到 1200V，通态压降达到 2.1～2.3V。

第三代，沟槽栅（Trench Gate）型 IGBT。这一代 IGBT 采取沟槽栅结构代替平面栅，这时的 IGBT 耐压可达到 1700V，通态压降可达到 1.7～2.0V。

第四代，非穿通（NPT）型 IGBT。这一代的 IGBT 耐压可达到 2500V，通态压降降到了 1.5～1.8V 的水平。

第五代，电场截止（FS）型 IGBT，又称弱穿通（LPT）IGBT。这一

代的 IGBT 耐压可达到 6500V，通态压降降低到 1.3～1.5V 的水平。

3.7.2 场效应晶体管的命名

1．美国场效应晶体管型号命名方法

美国场效应晶体管型号命名由四部分组成。第一部分用数字表示器件的类别，第二部分用字母“N”表示该器件已在 EIA（美国电子工业协会）注册登记，第三部分用数字表示该器件的注册登记号，第四部分用字母表示器件的规格号，如表 3-4 所示。

表 3-4 美国场效应晶体管型号各部分的含义

第一部分：类别		第二部分：美国电子工业协会（EIA）注册标志		第三部分：美国电子工业协会（EIA）登记号	第四部分：器件规格号
数字	含义	字母	含义		
3	三个 PN 结器件	N	该器件已在美国电子工业协会（EIA）注册登记	用多位数字表示该器件在美国电子工业协会（EIA）的登记号	用字母 A、B、C…表示同一型号器件的不同挡次
n	*n* 个 PN 结器件	N			
2	两个 PN 结器件	N			

2．日本场效应晶体管型号的命名方法

日本场效应晶体管的型号命名（JIS-C-7012 工业标准）由五部分组成，各部分含义见表 3-5。第一部分用数字表示器件的类型或有效电极数，第二部分用字母 S 表示该器件已在日本电子工业协会（JEIA）注册登记，第三部分用字母表示器件的类别，第四部分用数字表示登记序号，第五部分用字母表示产品的改进序号。

表 3-5　日本场效应晶体管型号的各部分含义

<table>
<tr><th colspan="2">第一部分：器件类型及有效电极</th><th colspan="2">第二部分：日本电子工业协会注册产品</th><th colspan="2">第三部分：类别</th><th>第四部分：登记序号</th><th>第五部分：产品改进序号</th></tr>
<tr><td rowspan="2">2</td><td rowspan="2">两个 PN 结</td><td rowspan="4">S</td><td rowspan="4">已在日本电子工业协会（JEIA）注册的半导体分立器件</td><td>J</td><td>P 沟道场效应晶体管</td><td rowspan="4">用两位以上整数表示日本电子工业协会注册登记的顺序号</td><td rowspan="4">用字母 A、B、C、D…表示对原来型号的改进序号</td></tr>
<tr><td>K</td><td>N 沟道场效应晶体管</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3</td><td rowspan="2">具有 3 个 PN 结或四个电极的场效应晶体管</td><td>J</td><td>P 沟道场效应晶体管</td></tr>
<tr><td>K</td><td>N 沟道场效应晶体管</td></tr>
</table>

3．中国场效应晶体管型号的命名方法

中国场效应晶体管的型号由三部分组成：第一部分用字母表示半导体器件的类型，CS 代表场效应晶体管，BT 代表半导体特殊器件，FH 代表复合管；第二部分用数字表示序号；第三部分用汉语拼音字母表示规格号。形式为 CS××#，CS 代表场效应晶体管，××以数字代表型号的序号，#用字母代表同一型号中的不同规格，如 CS14A、CS45G 等。

4．其他场效应晶体管型号的命名方法

有些场效应晶体管命名方法与双极型三极管相同，第三位字母 J 代表结型场效应晶体管，O 代表绝缘栅场效应晶体管。第二位字母代表材料，D 是 N 沟道；C 是 P 沟道。

3.7.3　场效应晶体管的结构与符号

1．场效应晶体管的结构

JFET 场效应晶体管结构如图 3-55 所示。

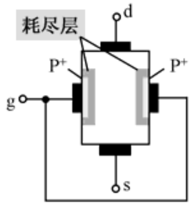


图3-55　JFET场效应晶体管结构图

JGFET 场效应晶体管结构图如图 3-56 所示。

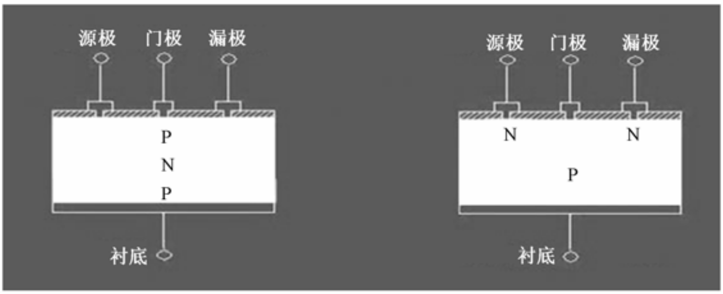


图3-56　JGFET场效应晶体管结构图

MOSFET 场效应晶体管结构如图 3-57 所示。

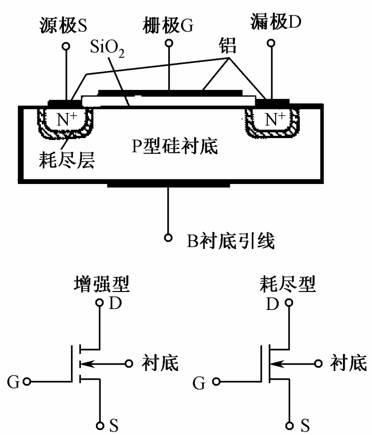


图3-57　MOSFET场效应晶体管结构图

2. 场效应晶体管的电路符号

场效应晶体管的电路符号如图 3-58 所示。

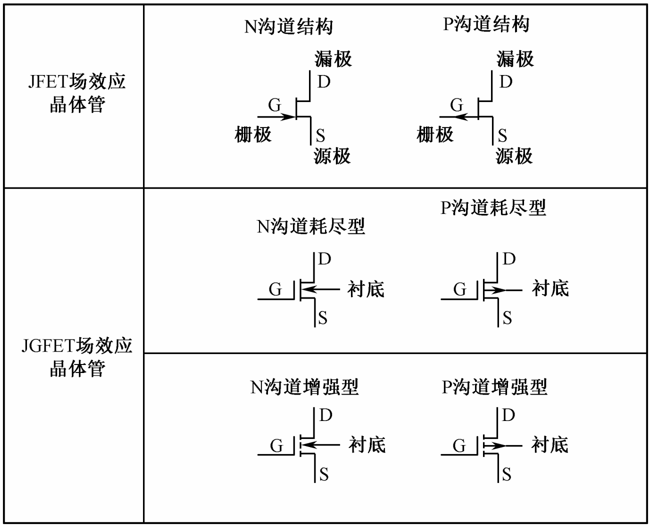


图3-58　场效应晶体管的电路符号

（1）场效应晶体管引脚排列（见图 3-59）

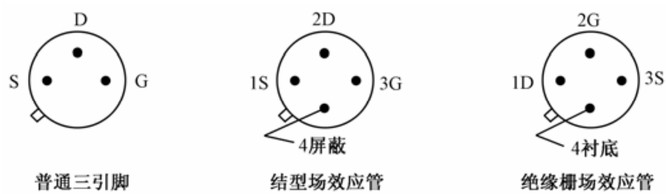


图3-59　场效应晶体管引脚排列

（2）场效应晶体管的外形图（见图 3-60）



图3-60　场效应晶体管的外形图

3.7.4　场效应晶体管的参数

场效应晶体管的参数很多，包括直流参数、交流参数和极限参数。但一般使用时读者比较关注以下主要参数：

（1）I_{DSS} —— 饱和漏源电流。它是指结型或耗尽型绝缘栅场效应晶体管栅极电压 U_{GS}=0 时的漏源电流。

（2）I_{DSM} —— 最大漏源电流。是一项极限参数，是指场效应晶体管正常工作时，漏源极间所允许通过的最大电流，场效应晶体管的工作电流不应超过 I_{DSM}。

（3）I_D—— 最大漏极电流。用来表示结型场效应晶体管正常温升条件下的最大漏极电流（直流）。

（4）I_C—— 最大集电极电流。一般用来表示 IGBT（绝缘双极）场效应晶体管的 c 极在 25℃时的最大电流。

（5）V_{DS} 或 V_{GS}—— 极限电压。用来分别表示结型场效应晶体管的漏−源或栅−漏极极限电压（直流）。

（6）V_{DSS}—— 最高耐压。用来表示绝缘栅型场效应晶体管的源极接地，栅极对地短路，漏−源极之间在指定条件下的最高耐压。

（7）V_{CES}—— E-C 极电压。用来表示 IGBT 场效应晶体管的集电极−发射极的电压。

（8）P_{DSM} —— 最大耗散功率，表示场效应晶体管连续工作不损坏所允许的最大漏源耗散功率。使用时，场效应晶体管实际功耗应小于 P_{DSM}，并留有一定的余量。

（9）P_D——散耗功率。表示室温 25℃时无散热片场效应晶体管连续工

作的漏极极限耗散功率。

（10）P_C —— 耗散功率。表示在 25℃时 IGBT 场效应晶体管的 C 极最大耗散功率。

（11）P_{tot} —— 总耗散功率。表示室温 25℃时，场效应晶体管连续工作时总耗散功率。

（12）R_{DS}（on）—— 最大开态电阻，也就是导通电阻，简写为 $R_{(ON)}$。

（13）Q_{SW} ——典型门电荷。

（14）T_a—— 场效应晶体管使用环境温度。

（15）T_c—— 场效应晶体管管壳温度。

3.7.5　场效应晶体管的使用

FET 是一种电压控制器件，其栅极电流极小，栅源输出电阻很大，MOSFET 栅漏极输出电阻可达 $1\times10^7\Omega$以上，特别适用于作为高输入阻抗放大器的输入级。FET 在沟道未夹断时可以作为压控可变电阻使用，这一特性使 FET 在一些控制电路中得到广泛应用，如自动增益控制电路、超大规模数字集成电路（VLSI）等。使用场效应晶体管时应注意以下几点：

（1）为了安全使用场效应晶体管，在线路的设计和维修更换中不能超过场效应晶体管的最大耗散功率，最大漏源电压、最大栅源电压和最大电流等参数的极限值，同时应留有足够的参数余地。

（2）各类型场效应晶体管在使用时，都要严格按要求的偏置接入电路中，要遵守场效应晶体管偏置的极性。

（3）为了防止场效应晶体管栅极感应击穿，要求一切测试仪器、工作台、电烙铁、线路本身都必须有良好的接地。引脚在焊接时，先焊源极，在连入电路之前，管子的全部引线端保持互相短接状态，焊接完毕后才把短接材料去掉。另外，从元器件架上取下管子时，应以适当的方式确保人体接地。

（4）焊接场效应晶体管时，最好采用先进的气热型电烙铁比较安全。在未关断电源时，绝对不可以把引脚插入电路或从电路中拔出。

（5）在安装场效应晶体管时，注意安装的位置要尽量避免靠近发热元件；为了防止管件振动，有必要将管壳体紧固起来，引脚引线在弯曲时，

应当在大于根部尺寸 5mm 处进行，以防止弯断引脚和引起管子漏气等。

（6）使用功率型场效应晶体管时，要有良好的散热条件。因为功率型场效应晶体管在高负荷条件下运用，必须设计足够的散热器，以确保壳体温度不超过额定值，使器件长期稳定可靠地工作。

（7）结型场效应晶体管应用的电路可以使用绝缘栅型场效应晶体管代替结型场效应晶体管，但绝缘栅增强型场效应晶体管应用的电路不能用结型场效应晶体管代替绝缘栅场效应晶体管。

（8）由于 MOS 场效应晶体管结构中的氧化物容易被静电所击穿，而人体有许多静电，故使用 MOS 场效应晶体管时还应注意以下几点:

一是不论是拔除、接触或插入 MOSFET 场效应晶体管到任何仪器或线路上，一定要先将电源关掉。

二是移动 MOSFET 元件一定要先确定人体电位跟所欲拔移的元件电位相等，一般做法是先将手去接触电路单元的框架上（如地线之类）进行放电。

三是 MOSFET 由于输入阻抗极高，而栅–源极间电容又非常小，极易受到外界电磁场或静电的感应而带电，而少量电荷就可在极间电容上形成相当高的电压，因此场效应晶体管出厂时各引脚都绞合在一起，通常装在黑色的导电泡沫塑料袋中，切勿自行随便拿个塑料袋盛装。也可用细铜线把场效应晶体管各个引脚连接在一起，用锡纸包装或装在金属箔内，使 G 极与 S 极呈等电位，以防止积累静电荷。尤其要注意的是，不能将 MOSFET 放入塑料盒子内，保存时最好放在金属盒内，同时也要注意场效应晶体管的防潮。场效应晶体管短路后焊接，一般是先将其与外部电路接好，然后再移去短路点。

四是不建议用热风焊枪对 MOSFET 进行焊接，在焊接 MOSFET 时，一定要先确定焊头为接地的电位。

五是 MOSFET 场效应晶体管各引脚的焊接顺序是漏极→源极→栅极，拆卸顺序则是栅极→源极→漏极。

六是 MOSFET 场效应晶体管的栅极在条件允许的前提下，最好接入保护二极管。在检修电路中的场效应晶体管时应注意检查原来的保护二极管是否损坏。

总之，为确保场效应晶体管的安全使用，要注意的事项很多，采取的安全措施也是各种各样，广大的专业技术人员，特别是广大的电子爱好者，要根据自己的实际情况，采取切实可行措施，安全有效地用好场效应晶体管。

3.7.6　场效应晶体管的检测

1．准备工作

测量之前，先把人体对地短路后，才能摸触场效应晶体管的引脚。最好在手腕上接一条导线与大地连通，使人体与大地保持等电位，再把引脚分开，然后拆掉导线。

2．结型场效应晶体管的检测

结型场效应晶体管的栅极相当于晶体管的基极，源极和漏极分别对应于晶体管的发射极和集电极。将万用表置于 R×1k 挡，用两表笔分别测量每两个引脚之间的正、反向电阻。当某两个引脚之间的正、反向电阻相等，且均为数 kΩ时，则这两个引脚为漏极 D 和源极 S（可互换），余下的一个引脚即为栅极 G。对于有四个引脚的结型场效应晶体管，另外一极是屏蔽极。若两次测出的电阻值均很大，说明是 PN 结的反向，即都是反向电阻，可以判定是 N 沟道场效应晶体管，且黑表笔接的是栅极；若两次测出的电阻值均很小，说明是正向 PN 结，即是正向电阻，判定为 P 沟道场效应晶体管，黑表笔接的也是栅极。若不出现上述情况，则进一步调换黑、红表笔按上述方法进行测试，直到判别出栅极为止。

用万用表测量场效应晶体管的源极与漏极、栅极与源极、栅极与漏极、栅极 G1 与栅极 G2 之间的电阻值同场效应晶体管手册标明的电阻值对照，看其是否相符来判别管子的好坏。具体方法：首先将万用表置于 R×10 挡或 R×100 挡，测量源极 S 与漏极 D 之间的电阻值，通常在几十欧到几千欧的范围之内，如果测得阻值大于正常值，可能是由于内部接触不良；如果测得阻值为无穷大，则可能是内部断极；如果测得栅极 G1 与 G2 之间、栅极与源极、栅极与漏极之间的电阻值均接近无穷大，则说明管子是正常

的；若测得上述各阻值太小或为 0Ω，则说明管子是坏的。

（2）测量漏-源通态电阻 R_{DS}（on）

将 G-S 极短路，选择万用表的 R×1 挡，黑表笔接 S 极，红表笔接 D 极，阻值应为几欧至十几欧。由于测试条件不同，测出的 R_{DS}（on）值与手册中所测得的数据不可能完全一致。

（3）检测场效应晶体管的放大能力

将万用表拨到 R×100 挡，红表笔接源极 S，黑表笔接漏极 D，相当于给场效应晶体管加上 1.5V 的电源电压。这时表针指示出的是 D-S 极间电阻值。然后用手指捏栅极 G，将人体上的感应电压作为输入信号加到栅极上，可观察到表针有较大幅度的摆动。如果用手捏栅极时表针摆动很小，说明管子的放大能力较弱；若表针不动，则说明管子已经损坏。

根据上述方法，例如用万用表的 R×100 挡测量结型场效应晶体管 3DJ2F，可先将管子的 G 极开路，测得漏源电阻 R_{DS} 为 600Ω左右，用手捏住 G 极后，表针向左摆动，指示的电阻 R_{DS} 为 11.8kΩ左右，表针摆动的幅度较大，则说明该管子是好的，并有较大的放大能力。

注意：手捏栅极时，万用表指针可能向右摆动（电阻值减少），也可能向左摆动（电阻值增加），这是由于人体感应电压较高，而不同的场效应晶体管用电阻挡测量时的工作点可能不同所致，因此，只要表针摆动幅度较大，则说明管子有较大的放大能力。

3．VMOS绝缘栅场效应晶体管的检测。

（1）判断栅极 G

将万用表拨到 *R*×100Ω挡，首先确定栅极。若某脚与其他脚的电阻都是无穷大，证明此脚就是栅极 G。交换表笔再测，S-D 之间的电阻值应为几百欧至几千欧，其中阻值较小的那一次，黑表笔接的为 D 极，红表笔接的是 S 极。

注意：日本生产的 3SK 系列场效应晶体管产品，S 极与管壳接通，S 极很容易确定。

（2）检查放大能力（跨导）

将万用表置于 R×1k（或 R×100）挡，红表笔接 S 极，黑表笔接 D 极，

手持螺钉旋具去碰触栅极，表针应有明显偏转，偏转愈大，说明管子的放大能力愈强。

注意：有少数 VMOS 管在 G-S 极之间并有保护二极管，采用此法判别极性容易出错，应特别引起注意。本手册中介绍的模块，其内部有多个 N 沟道管或 P 沟道管，不适用本检测方法，其他场效应晶体管可参照此法进行检测。

3.8　晶体闸流管

晶闸管国际通用名称为 Thyristor，晶体闸流管，又称可控硅，全称为硅可控整流元件，它是由硅半导体材料做成的硅晶体闸流管。晶闸管常用符号“V”、“VT”表示。晶闸管具有硅晶闸管整流器件的特性，能在高电压、大电流状态下工作，且其工作过程可以控制，被广泛应用于可控整流、交流调压、无触点电子开关、逆变及变频等电子电路中。

晶闸管包含三个或三个以上的 PN 结，可看成一个 PNP 型晶闸管和一个 NPN 型晶闸管的复合管，是一种能从断态转入通态或由通态转入断态的双稳态电力电子器件。它泛指所有 PNPN 类型的开关管，也可表示这类开关管中的任意器件。

由于晶闸管只有导通和关断两种工作状态，所以它具有开关特性。平时它保持在非导通状态，直到由一个较小的控制信号对其触发使其导通；一旦被触发就算撤离触发信号它也能保持导通状态。要使其截止可在其阳极与阴极之间加上反向电压或将流过晶闸管的电流减小到某一定值以下。晶闸管这种通过触发信号（小的触发电流）来控制导通（晶闸管中通过大电流）的可控特性，正是它区别于普通硅整流二极管的重要特征。

3.8.1　晶闸管的分类

晶闸管按不同的分类标准可分为不同的类型，其具体分类方法如下：

（1）晶闸管按关断、导通及控制方式可分为单向晶闸管、双向晶闸管、逆导晶闸管、逆阻晶闸管、可关断晶闸管、温控晶闸管、光控晶闸管和晶闸管模块等多种。例如，智能功率模块的英文名称为“intelligent

power module”，简称 IPM。

（2）晶闸管按引脚和极性可分为二极晶闸管、三极晶闸管和四极晶闸管。其中，二极晶闸管有双向触发二极管 SIDAC，即 Silicon Diode for Alternating Current，它是基于晶闸管原理和结构的一种二端负阻器件，由于被触发导通时两端的压降只有 1.5V 左右，因此这种器件的工作状态类似一个开关，故 SIDAC 又称为“双向触发开关”。还有“肖克莱二极管”，又称晶体闸流二极管或晶闸二极管。

（3）晶闸管按外形不同可分为普通式、螺旋式、平板式和平底式等类型，其中螺旋式结构的较多。

（4）晶闸管按封装形式可分为金属封装式、塑封式和陶瓷封装式三种类型。其中，金属封装式晶闸管又分为螺栓形、平板形和圆壳形等多种，塑封晶闸管又分为带散热片型和不带散热片型两种。

（5）晶闸管按电流容量可分为大功率晶闸管、中功率晶闸管和小功率晶闸管三种。通常，大功率晶闸管一般采用金属壳封装，而中、小功率晶闸管则大多采用塑封或陶瓷封装。

（6）晶闸管按关断速度可分为普通晶闸管和高频晶闸管。高频晶闸管与快速晶闸管类似，但高频晶闸管往往具有更短的开关时间，可用于比快速晶闸管要求更高的各种高频晶闸管电路。

3.8.2 晶闸管的命名

1．国产晶闸管型号的命名方法

国产晶闸管型号的命名（JB1144-75 部颁标准）主要由四部分组成，各部分的含义如表 3-6 所示。第一部分用字母“K”表示主称为晶闸管；第二部分用字母表示晶闸管的类别；第三部分用数字表示晶闸管的额定通态电流值；第四部分用数字表示重复峰值电压级数。例如，KP2-2，表示 2A/200.0V 的普通反向阻断型晶闸管，KS5-5 表示 5A/500.0V 的双向型晶闸管。

表 3-6　国产晶闸管的型号命名及含义

主　称		类　别		额定通态电流		重复峰值电压级数	
字母	含义	字母	含义	数字	含义	数字	含义
K	晶闸管	P	普通反向阻断型	1	1A	1	100V
				5	5A	2	200V
				10	10A	3	300V
				20	20A	4	400V
		K	快速晶闸管反向阻断型	30	30A	5	500V
				50	50A	6	600V
				100	100A	7	700V
				200	200A	8	800V
		S	双向型	300	300A	9	900V
				400	400A	10	1000V
				500	500A	12	1200V
						14	1400V

2．日本产晶闸管型号的命名方法

日本生产的晶闸管由五至七部分组成，一般只用到前五个部分。第一部分，用数字表示器件有效电极数目或类型；第二部分，日本电子工业协会 JEIA 注册标志；第三部分，用字母表示器件使用材料极性和类型，如 F 表示 P 控制极晶闸管、G 表示 N 控制极晶闸管，M 表示双向晶闸管；第四部分，用数字表示在日本电子工业协会 JEIA 登记的顺序号，数字越大，越是近期产品；第五部分，用字母表示同一型号的改进型产品标志，A、B、C、D、E、F 表示该晶闸管是原型号的改进产品。

3．美国产晶闸管型号的命名方法

美国电子工业协会晶闸管的型号命名方法：第一部分，用符号表示器件用途的类型；第二部分，用数字表示 PN 结数目，如 3 表示三个 PN 结晶闸管；第三部分，美国电子工业协会（EIA）注册标志；第四部分，美国电子工业协会登记顺序号；第五部分，用字母表示器件类型分挡。

4．国际电子联合会晶闸管型号的命名方法

欧洲及东欧国家，大都采用国际电子联合会晶闸管的型号命名方法。这种命名方法由四个基本部分组成：第一部分，用字母表示器件使用的材料；第二部分，用字母表示器件的类型及主要特征，如 R 表示小功率晶闸管、T 表示大功率晶闸管；第三部分，用数字或字母加数字表示登记顺序号；第四部分，用字母对同一类型器件进行挡别分类。

除四个基本部分外，有时还加后缀，以区别特性或进一步分类。晶闸管型号常见的后缀是数字，通常标出最大反向峰值耐压值和最大反向关断电压中数值较小的那个电压值。

3.8.3 晶闸管的参数

晶闸管的参数包括电压参数、电流参数、控制极参数及动态参数等，下面就经常用到的一些主要参数及其含义予以介绍。

1．晶闸管的电压参数

晶闸管的电压参数包括断态重复峰值电压 V_{DRM}、断态不重复峰值电压 V_{DSM}、反向重复峰值电压 V_{RRM}、反向不重复峰值电压 V_{RSM}、通态门槛电压 V_{TO}、通态峰值电压 V_{TM}、模块绝缘电压 V_{ISO}、触发电压 V_{GT} 等。

（1）断态重复峰值电压 V_{DRM}

断态重复峰值电压是指晶闸管在正向阻断时，允许加在 A、K（或 T1、T2）极之间最大的峰值电压。

（2）断态不重复峰值电压 V_{DSM}

断态不重复峰值电压，又称正向转折电压，是指在额定结温为 100℃且 G 极开路的条件下，在其 A 极与 K 极之间加上正弦半波正向电压，使其由关断状态转变为导通状态时所对应的峰值电压。

（3）反向重复峰值电压 V_{RRM}

反向重复峰值电压，是指晶闸管在 G 极断路时，允许在 A、K 极间的最大反向峰值电压。

（4）反向不重复峰值电压 V_{RSM}

反向不重复峰值电压，是指晶闸管处于阻断状态时能承受的最大转折

电压。

（5）通态峰值电压 V_{TM}

通态峰值电压，又称峰值压降，是指晶闸管通过规定通态峰值电流 I_{TM} 时的峰值电压，它直接反应了器件的通态损耗特性，影响着器件的通态电流额定能力。

（6）触发电压 V_{GT}

触发电压 V_{GT}，表示晶闸管在额定条件下从关断到导通的门极触发电压。

2．晶闸管的电流参数

晶闸管的电流参数包括维持电流 I_H、通态平均电流 I_T、通态一个周波不重复浪涌电流（峰值）I_{TSM}、通态电流有效值 I_{TRMS}、正向平均电流 I_F、断态重复峰值电流 I_{DRM}、反向重复峰值电流 I_{RRM}、最小触发电流 I_{BO}、触发电流 I_{GT} 等。

（1）维持电流 I_H

维持电流，是指维持晶闸管导通的最小电流。当正向电流小于维持电流时，导通的晶闸管会自动关断。

（2）通态平均电流 I_T

通态平均电流，是指在规定环境温度和冷却条件下，晶闸管正常工作时 A、K（或 T1、T2）极间所允许通过的电流平均值。其中，包括单向晶闸管通态平均电流 $I_{T(AV)}$ 和双向晶闸管通态平均电流 $I_{T(RMS)}$。

（3）断态重复峰值电流 I_{DRM}

断态重复峰值电流，是指晶闸管在关断状态下的正向最大平均漏电电流值。

（4）反向重复峰值电流 I_{RRM}

反向重复峰值电流，是指晶闸管在关断状态下的反向最大漏电电流值。

（5）最小触发电流 I_{BO}

最小触发电流 I_{BO}，表示晶闸管在额定条件下从关断到导通的最小触发电流。

（6）触发电流 I_{GT}

触发电流 I_{GT}，表示晶闸管在额定条件下从关断到导通的触发电流。

3．晶闸管的控制极参数

晶闸管的控制极参数包括控制极反向电压、控制极触发电压 V_{GT} 及触发电流 I_{GT} 等。其中，反向电压是指晶闸管控制极上所加的额定电压。控制极触发电流、触发电压，是指在规定的环境温度下，阳极与阴极间加有一定电压时，晶闸管从关断状态转为导通状态所需要的最小控制极电流和电压。

4．晶闸管的动态参数

晶闸管的动态参数包括断态电压临界上升率 dv/dt、通态电流临界上升率 di/dt、电路换向关断时间 t_q、结壳热阻 R_{jc}、额定结温 T_{jm} 等。

（1）断态电压临界上升率 dv/dt

断态电压临界上升率，是指在规定条件下不会导致晶闸管从断态转换到通态所允许的最大正向电压的上升速率。

（2）通态电流临界上升率 di/dt

通态电流临界上升率，是指晶闸管从阻断状态转换到导通状态时，所能承受的通态电流上升速率的最大值。

（3）结壳热阻 R_{jc}

结壳热阻，是指晶闸管在规定的条件下，由结到壳流过单位功耗电流所产生的温升。结壳热阻反映了器件的散热能力，直接影响到器件的通态额定性能指标。

（4）电路换向关断时间 t_q

电路换向关断时间，是指在规定条件下，晶闸管从通态电流降至零的瞬间起，到元件开始能承受规定的断态电压瞬间为止的时间间隔。

3.8.4　晶闸管的结构与符号

1．普通晶闸管的结构与符号

（1）单向晶闸管

单向晶闸管简称 SCR（英文全称 Semiconductor Controlled Rectifier），它是由 PNPN 四层半导体材料构成的三端半导体器件，三个引出端分别为阳极 A、阴极 K 和控制极 G，其电路图形符号如图 3-61 所示。

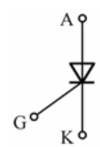


图3-61　单向晶闸管电路图形符号

单向晶闸管的阳极与阴极之间具有单向导电的性能，其内部结构如图 3-62 所示，由 P1、N1、P2、N2 四层半导体组成。单向晶闸管内部有三个 PN 结，从 P1 区引出阳极 A、N2 区引出阴极 K、P2 区引出控制极 G，所以单向晶闸管又称四层三端元件。四层结构形成三个 PN 结（J1、J2、J3），这三个结按正反正的极性相互串联在一起。

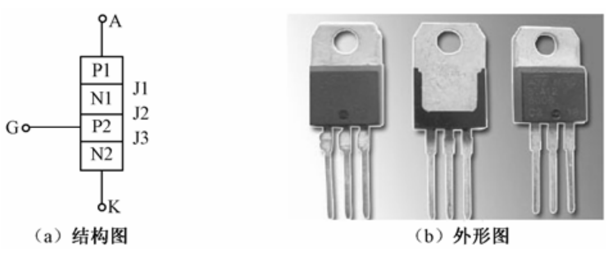


图3-62　晶闸管内部结构图

（2）双向晶闸管

双向晶闸管，又称三端双向交流开关晶闸管，简称 TRIAC（英文全称 Triode ACsemiconductor switch），它是在单向晶闸管的基础上发展而来的。

双向晶闸管由 NPNPN 五层半导体材料构成，相当于两只单向晶闸管反向并联，其电路图形符号如图 3-63 所示，有主电极 T1、主电极 T2 和控制极 G 三个电极。

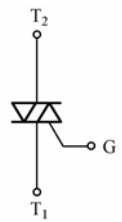


图3-63　双向晶闸管的电路图形符号

双向晶闸管的内部结构和外形图如图 3-64 所示，可以双向导通，即控制极加上正或负的触发电压，均能触发双向晶闸管正、反两个方向导通。

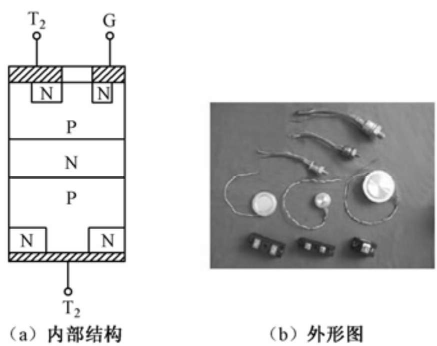


图3-64　双向晶闸管内部结构和外形图

2．其他特殊晶闸管的结构与符号

（1）可关断晶闸管

可关断晶闸管，又称门控晶闸管，简称 GTO（英文全称 Gate Turn-off Thyristor）。其主要特点是：当控制极加负向触发信号时晶闸管能自行关断。可关断晶闸管的电路图形符号如图 3-65 所示，它也属于 PNPN 四层三端器件，其结构与普通晶闸管相似（内部结构如图 3-66（b）所示）。大功率

晶闸管 GTO 一般制成模块形式。

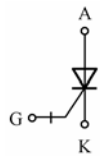


图3-65　门控晶闸管电路图形符号

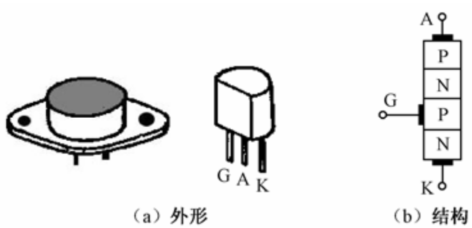


图3-66　门控晶闸管内部结构

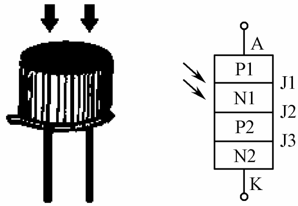
尽管普通晶闸管与可关断晶闸管的触发导通原理相同，但二者的关断原理及关断方式截然不同。这是由于普通晶闸管在导通之后即处于深度饱和状态，而可关断晶闸管在导通后只能达到临界饱和，所以在可关断晶闸管的控制极上加负向触发信号即可关断。

（2）光控晶闸管

光控晶闸管又称光控硅，简称 LAT，也称 GK 型光开关管，它是一种光敏器件。在电路中常用如图 3-67 所示的符号来表示。光控晶闸管的外形和内部结构如图 3-68 所示，它由 PNPN 四层半导体材料构成，可等效为由一只晶闸管和一只电容、一只光敏二极管组成的电路。由于光控晶闸管的控制信号来自光的照射，故其只有阳极 A 和阴极 K 两个引出电极，控制极为受光窗口（小功率晶闸管）或光导纤维、光缆（大功率晶闸管）等。



图3-67　光控晶闸管电路图形符号



（a）外形　（b）内部结构

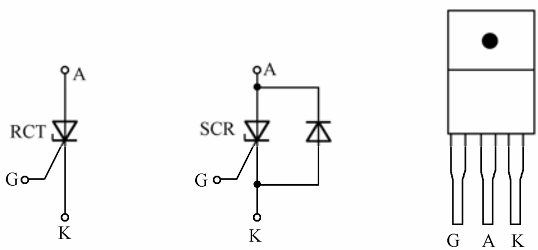
图3-68　光控晶闸管外形及内部结构

（3）温控晶闸管

温控晶闸管是一种新型温度敏感开关器件，其结构与普通晶闸管的结构相似，也是由 PNPN 半导体材料制成的三端器件，但在制作时，温控晶闸管中间的 PN 结中注入了对温度极为敏感的成分，因而改变环境温度即可改变其特性曲线。

（4）逆导晶闸管

逆导晶闸管又称反向导通晶闸管，简称 RCT（英文全称 Reverse-Conducting Thyristir），其特点是在晶闸管的阳极 A 与阴极 K 之间反向并联一只二极管（电路符号和等效电路图如图 3-69 所示），使阳极与阴极的发射结均呈短路状态。



（a）电路符号　（b）等效电路图　（c）实物图

图3-69　逆导晶闸管的电路图形符号与等效电路

（5）逆阻晶闸管

逆阻晶闸管又称 BTG 晶闸管，又称可编程单结晶闸管 PUT。是由 PNPN 四层半导体材料构成的三端逆阻型晶闸管，其电路图形符号如

图 3-70 所示，内部结构如图 3-71 所示。

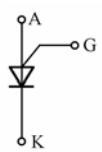


图3-70　逆阻晶闸管的电路图形符号

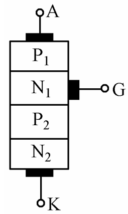


图3-71　逆阻晶闸管的内部结构

（6）四极晶闸管

四极晶闸管也称硅控制开关管（SCS），是一种由 PNPN 四层半导体材料构成的多功能半导体器件。图 3-72 为其电路图形符号和内部结构。

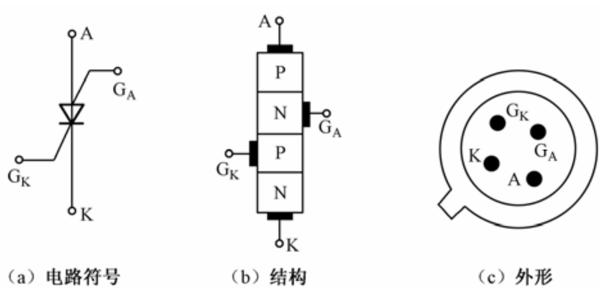


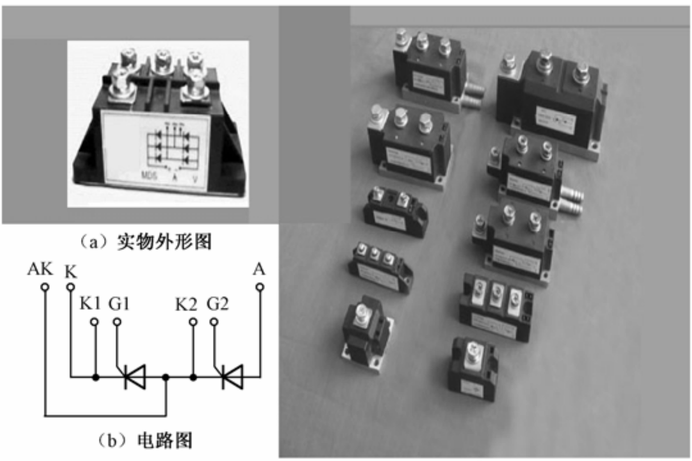
图3-72　四极晶闸管的电路图形符号及内部结构

四极晶闸管的四个电极分别为阳极 A、阴极 K、阳极控制极 G_A 和阴极控制极 G_K。若将四极晶闸管的阴极控制极 G_K 悬空，则可以代替 BTG 晶闸管或可关断晶闸管使用；若将其阳极控制极 G_A 悬空，则四极晶闸管可以代替普通晶闸管或可关断晶闸管使用；若将其阳极控制极 G_A 与阳极 A 短接，则可以代替逆导晶闸管或 NPN 型硅晶闸管使用。因此，只要改变四极晶闸管的接线方式，就可构成普通晶闸管（SCR）、可关断晶闸管（GTO）、逆导晶闸管（RCT）、互补型 N 门极晶闸管（NGT）、可编程单结晶闸管（PUT）、单结晶闸管（UJT）。此外，还能构成 NPN 型晶闸管、

PNP 型晶闸管、肖克莱二极管（SKD）、稳压二极管、N 型或 P 型负阻器件，分别可实现十多种半导体器件的电路功能。迄今为止，还不曾有哪种器件像它一样具有如此众多的功能，它因此被誉为新颖的万能器件。

（7）智能晶闸管模块

智能晶闸管模块简称 ITPM（英文全称 Intelligent Thyristor Power Mudule），是把晶闸管主电路和移相触发系统以及过电流、过电压保护、传感器等共同封装在一个塑料外壳内制成的，使有关电路成为一个整体。最新 ITPM 的移相触发电路为全数字电路，功能电路由单片机完成，并且内置有多路电流、电压、温度传感器，通过模块上的接插件可将各种控制线引到键盘，进行各种功能和电气参数设定，并可进行 LED 或 LCD 显示。图 3-73 为晶闸管模块外形图和电路图。



（a）实物外形图

（b）电路图

图3-73 晶闸管模块外形图和电路图

3.8.5 晶闸管的选用

1. 晶闸管类型的选择

晶闸管有多种类型，应根据应用电路的具体要求合理选用。

若用于交直流电压控制、可控整流、交流调压、逆变电源、开关电源

保护电路等，可选用普通晶闸管；若用于交流开关晶闸管、交流调压、交流电动机线性调速、灯具线性调光及固态继电器、固态接触器等电路中，应选用双向晶闸管；若用于交流电动机变频调速、斩波器、逆变电源及各种电子开关电路等，可选用控制极关断晶闸管；若用于电磁灶、电子镇流器、超声波电路、超导磁能储存系统及开关电源等电路，可选用逆导晶闸管；若用于光电耦合器、光探测器、光报警器、光计数器、光电逻辑电路及自动生产线的运行监控电路，可选用光控晶闸管。

2．晶闸管主要参数的选择

晶闸管的主要参数应根据应用电路的具体要求而定。所选晶闸管应留有一定的功率余量，其额定峰值电压和额定电流（通态平均电流）均应高于受控电路的最大工作电压和最大工作电流 1.5～2 倍。晶闸管的正向压降、控制极触发电流及触发电压等参数应符合应用电路（指控制极的控制电路）的各项要求，不能偏高或偏低，否则会影响晶闸管的正常工作。

3.8.6　晶闸管的检测

1．普通晶闸管的检测

（1）单向晶闸管的检测

单向晶闸管可以根据其封装形式来判断出各电极，一般螺栓形单向晶闸管的螺栓一端为阳极 A、较细的引线端为控制极 G、较粗的引线端为阴极 K；平板形单向晶闸管的引出线端为控制极 G、平面端为阳极 A、另一端为阴极 K；金属壳封装的单向晶闸管的外壳为阳极 A，而塑封单向晶闸管的中间引脚为阳极 A。

根据单向晶闸管的结构可知，其控制极 G 与阴极 K 极之间为一个 PN 结，具有单向导电特性，而阳极 A 与控制极之间有两个反极性串联的 PN 结。因此，通过用万用表 R×100Ω挡或 R×1kΩ挡测量单向晶闸管各引脚之间的电阻值，即能确定三个电极。具体方法是：将万用表黑表笔任接晶闸管某一极，红表笔依次去触碰另外两个电极。若测量结果有一次阻值为几

千欧，而另一次阻值为几百欧，则可判定黑表笔接的是控制极 G。在阻值为几百欧的测量中，红表笔接的是阴极 K，而在阻值为几千欧的那次测量中，红表笔接的是阳极 A；若两次测出的阻值均很大，则说明黑表笔接的不是控制极 G。应用同样方法改测其他电极。另外，可测量任两脚之间的正、反向电阻，若正、反向电阻均接近无穷大，则说明两极为阳极 A 和阴极 K，而另一脚即为控制极 G。

（2）判断晶闸管的好坏

用万用表 R×1k 挡测量晶闸管阳极 A 与阴极 K 之间的正、反向电阻，正常时均应为无穷大（∞），否则说明晶闸管内部击穿短路或漏电。

用万用表 R×1k 挡测量控制极 G 与阴极 K 之间的正、反向电阻值，正常时正向电阻值较小、反向电阻值较大。若两次测量的电阻值均很大或均很小，则说明该晶闸管 G、K 极之间开路或短路；若正、反电阻值均相等或接近，则说明该晶闸管 G、K 极之间的 PN 结已失去单向导电作用。

用万用表 R×1k 挡测量阳极 A 与控制极 G 之间的正、反向电阻，正常时两个阻值均应为几百千欧或无穷大（∞），否则说明 G、A 极之间反向串联的两个 PN 结中的其中一个已击穿短路。

（3）触发能力的检测

对于小功率（工作电流为 5A 以下）的单向晶闸管，可用万用表 R×1 挡测量。测量时黑表笔接阳极 A、红表笔接阴极 K，此时表针不动，显示阻值为无穷大（∞）。用镊子或导线将 A 极与 G 极短路，此时若电阻值为几欧姆至几十欧姆，则表明晶闸管因正向触发而导通。再断开 A 极与 G 极的连接，若表针示值仍保持在几欧至几十欧的位置不动，则说明此晶闸管的触发性能良好。

对于中、大功率晶闸管的单向晶闸管，由于万用表 R×1 挡所提供的电流偏低，晶闸管不能完全导通，故检测时需在黑表笔端串接一只 200Ω可调电阻和 1～3 节 1.5V 干电池。

2. 双向晶闸管的检测

（1）判别各电极

一般螺栓形双向晶闸管的螺栓一端为主电极 T2，较细的引线端为控

制极 G，较粗的引线端为主电极 T1；金属封装双向晶闸管的外壳为主电极 T2，而塑封双向晶闸管的中间引脚为主电极 T2。

用万用表 R×1 挡或 R×10 挡分别测量双向晶闸管三个引脚间的正、反向电阻，若测得某一引脚与其他两脚之间分别都为无穷大，则此脚为主电极 T2，再测量其他两脚之间的正、反向电阻，此时可测得两个较小的电阻值。在电阻值较小（约几十欧）的一次测量中，黑表笔接的是主电极 T1，红表笔接的是控制极 G。

（2）判断晶闸管的好坏

用万用表 R×1 挡或 R×10 挡测量双向晶闸管的 T1 与 T2 之间、T2 与 G 之间的正、反向电阻值，正常时均应接近无穷大，否则说明该晶闸管电极之间已击穿或漏电短路。

用万用表 R×1 挡或 R×10 挡测量 T1 与 G 之间的正、反向电阻值，正常时均应在几十欧至一百欧之间，若测其值为无穷大，则说明该晶闸管已开路损坏。

（3）触发能力的检测

对于小功率双向晶闸管，可用万用表 R×1 挡直接测量。具体方法是：先将黑表笔接 T2 极、红表笔接 T1 极，再用镊子将 T2 极与 G 极短路，若此时测得的电阻值由无穷大变为十几欧，则说明该晶闸管已被触发导通，否则说明此晶闸管无触发导通能力。若在晶闸管被触发导通后断开 G 极，T2、T1 极之间不能维持低阻导通状态而阻值变为无穷大，则说明该晶闸管性能不良或已经损坏。

对于中、大功率晶闸管双向晶闸管，在测量其触发能力时，可先在万用表的某支表笔上串接 1～3 节 1.5V 干电池，然后再用 R×1 挡按上述方法进行测量。

3．其他特殊晶闸管的检测

（1）可关断晶闸管的检测

可关断晶闸管三个电极的判别方法与普通晶闸管相同，因此可采用判别普通晶闸管电极的方法来找出可关断晶闸管的电极。

在检测可关断晶闸管的关断能力时，可先按检测触发能力的方法使晶

闸管处于导通状态，即用万用表 R×1 挡黑表笔接阳极 A、红表笔接阴极 K，测得电阻值为无穷大。再将 A 极与控制极 G 短路，晶闸管被触发导通，其 A、K 极之间电阻值由无穷大变为低阻状态。断开 A 极与 G 极的短路点后，晶闸管维持低阻导通状态，由此说明其触发能力正常。再在晶闸管的控制极 G 与阳极 A 之间加上反向触发信号，若此时 A 极与 K 极之间的电阻值由低阻值变为无穷大，则说明晶闸管的关断能力正常。

（2）温控晶闸管的检测

温控晶闸管的内部结构与普通晶闸管相似，因此，可采用判别普通晶闸管电极的方法来找出温控晶闸管的电极。另外，温控晶闸管的好坏可用万用表大致测量出来，具体方法可参考普通晶闸管的检测方法。

（3）光控晶闸管的检测

① 判别各极。

将万用表置 R×1 挡，在黑表笔上串接 1～3 节 1.5V 干电池，测量两引脚之间的正、反向电阻，正常时均应为无穷大。再用小手电筒或激光笔照射光控晶闸管的受光窗口，此时应能测出一个较小的正向电阻值，但反向电阻值仍为无穷大。在较小电阻值的一次测量中，黑表笔接的是阳极 A、红表笔接的是阴极 K。

② 判断晶闸管的好坏。

采用如图 3-74 所示电路对光控晶闸管进行测量。按通电源开关 K，用手电筒照射晶闸管 V_T 的受光窗口，若此时指示灯 L 不亮，在被测晶闸管电极连接正确的情况下，则说明该晶闸管内部损坏。若接通电源开关 K 后，在未加光源的情况下指示灯 L 点亮，则说明被测晶闸管已击穿短路。

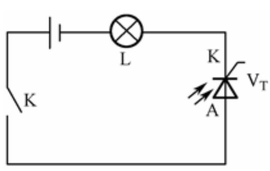


图3-74 光控晶闸管的测试电路

③ 触发性能的检测。

采用判断光控晶闸管好坏的方法对其触发性能进行测量。若接通电源

开关、并加上触发光源后，指示灯 L 点亮，撤离光源后指示灯 L 维持发光，则说明该晶闸管触发性能良好。

（4）逆导晶闸管的检测

① 判别各电极。

根据逆导晶闸管内部结构可知，在阳极 A 与阴极 K 之间并接有一只二极管（正极接 K 极），而控制极 G 与阴极 K 之间有一个 PN 结，阳极 A 与控制极之间有多个反向串联 PN 结。

用万用表 R×100Ω挡测量各电极之间的正反向电阻值时，会发现有一个电极与另外两个电极之间正、反向测量时均会有一个低阻值，这个电极就是阴极 K。将黑表笔接阴极 K，红表笔依次去触碰另外两个电极，显示为低阻值的一次测量中，红表笔接的是阳极 A。再将红表笔接阴极 K，黑表笔依次触碰另外两个电极，显示低阻值的一次测量中，黑表笔接的便是控制极 G。

② 判断晶闸管的好坏。

用万用表 R×100Ω挡或 R×1k 挡测量晶闸管各极之间的正、反向电阻值。正常情况下，阳极 A 与阴极 K 之间的正向电阻值为无穷大、反向电阻值为几百欧至几千欧；阳极 A 与控制极 G 之间的正、反向电阻值均为无穷大；控制极 G 与阴极 K 之间的正向电阻值为几百欧至几千欧，反向电阻值为无穷大。若实测数据与上述情况不符，则说明所测晶闸管已开路或短路损坏。

③ 触发性能的检测。

逆导晶闸管触发能力的检测方法与普通晶闸管相同。

（5）逆阻晶闸管的检测

① 判别各电极。

根据逆阻晶闸管的内部结构可知，其 A-K 极和 G-K 极之间均包含有多个正、反向串联 PN 结，而 A-G 极之间只有一个 PN 结。因此，只要用万用表测出 A 极和 G 极即可。具体方法是：用万用表 R×1k 挡测量任意两引脚之间的正、反向电阻，若测出某对引脚为低阻值时，则黑表笔接的是阳极 A、红表笔接的是控制极 G，而另外一个引脚即为阴极 K。

② 判断晶闸管的好坏。

用万用表 R×1k 挡测量晶闸管各电极之间的正、反向电阻。正常时，阳极 A 与阴极 K 之间的正、反向电阻均为无穷大；阳极 A 与控制极 G 之间的正向电阻值（指黑表笔接 A 极时）为几百欧至几千欧，反向电阻值为无穷大。若测得某两极之间的正、反向电阻值均很小，则说明该晶闸管已短路损坏。

③ 触发性能的检测。

将万用表置于 R×1 挡，黑表笔接阳极 A、红表笔接阴极 K，测得阻值应为无穷大。再用手指触摸控制极 G，给其加上一个人体感应信号，若此时 A、K 极之间的电阻值由无穷大变为低阻值（数欧姆），则说明晶闸管的触发能力良好。

（6）四极晶闸管的检测

① 判别各电极。

四极晶闸管多采用金属壳封装，图 3-75 为引脚排列底视图。从管键（管壳上的凸起处）开始看，顺时针方向依次为阴极 K、阴极控制极 G_K、阳极控制极 G_A、阳极 A。

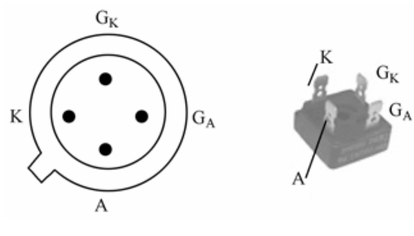


图3-75 引脚排列底视图

② 判断晶闸管的好坏。

用万用表 R×1k 挡分别测量四极晶闸管各电极之间的正、反向电阻。正常时，A 与 G_A 之间的正向电阻值（黑表笔接 A 极）为无穷大，反向电阻值为 4～12kΩ；G_A 与 G_K 之间的正向电阻值（黑表笔接 G_A）为无穷大，反向电阻值为 2～10kΩ；K 与 G_K 之间的正向电阻值（黑表笔接 K）为无穷大，反向电阻值为 4～12kΩ。若测得某两极之间的正、反向电阻值均较小或均为无穷大，则说明该晶闸管内部短路或开路。

③ 晶闸管性能的检测。

触发能力的检测：用万用表 R×1k 挡黑表笔接 A 极、红表笔接 K 极，将 K 极与 G_A 极瞬间短路，A、K 极之间电阻值由无穷大迅速变为低阻值，则说明该晶闸管 G_A 极的触发能力良好。断开黑表笔后将其与 A 极连接，再将 A 极与 G_K 极瞬间短路，若此时晶闸管 A、K 极之间的电阻值由无穷大变为低阻值，则说明该晶闸管 G_K 极的触发能力良好。

关断性能的检测：在四极晶闸管被触发导通状态时，若将 A 极与 G_A 极或 K 极与 G_K 极瞬间短路，A、K 极之间的电阻值由低阻值变为无穷大，则说明该晶闸管的关断性能良好。

反向导通性能的检测：分别将晶闸管的 A 极与 G_A 极、K 极与 G_K 极短接，用万用表 R×1k 挡黑表笔接 A 极、红表笔接 K 极，正常时阻值应为无穷大。再将两表笔对调测量，K、A 极之间正常电阻值应为低阻值（数千欧姆）。若所测电阻值与正常值相符，则说明该晶闸管的反向导通性能良好。

3.9　集成电路

集成电路英文全称为 Integrated Circuit，缩写为 IC。它是通过一系列特定的加工工艺，将晶体管、晶闸管等有源器件和电阻、电容等无源器件，按照一定的电路互连，集成在一块单晶片（如硅或砷化镓）上，封装在一个外壳内，执行特定电路或系统功能的一种元器件。在电路中用字母“IC”（也有用文字符号“N”等）表示。 集成电路按其集成度的高低不同可分为小规模集成电路、中规模集成电路、大规模集成电路和超大规模集成电路。按制作工艺分为半导体集成电路、膜集成电路和混合集成电路三大类。

3.9.1　集成电路的种类

集成电路的种类较多，常见的分类方法有以下几种。

1．按功能不同分类

集成电路按其功能不同，大致可分为两大类：一类为模拟集成电路，主要用来产生、放大和处理各种模拟电信号（模拟信号是指幅度随时间连

续变化的信号）；另一类为数字集成电路，主要用来产生、放大和处理各种数字电信号（数字信号是指在时间上和幅度上离散取值的信号）。

在电子技术中，通常又把模拟信号以外的非连续变化的信号统称为数字信号。由于目前在家电维修中或一般性电子制作中所遇到的主要是模拟信号，因此模拟集成电路使用较为广泛。

2．按制作工艺不同分类

集成电路按其制作工艺不同，可分为半导体集成电路、膜集成电路和混合集成电路三类，下面作简要介绍。

（1）半导体集成电路

半导体集成电路又称单块集成电路，它是采用半导体工艺技术，在硅基片上制作包括电阻、电容、二极管、三极管等元器件并具有某种电路功能的集成电路。

半导体集成电路的基本电路类型有双极型和单极型两种。双极型集成电路又有 TTL、DTL、ECL 等多种电路。单极型集成电路又称 MOS 集成电路，常见的 MOS 电路有 PMOS、NMOS、CMOS 等几种类型。

NMOS 集成电路是在半导体硅片上，以 N 型沟道 MOS 器件构成的集成电路，参加导电的是电子；PMOS 型是在半导体硅片上，以 P 型沟道 MOS 器件构成的集成电路，参加导电的是空穴；CMOS 型是由 NMOS 晶体管和 PMOS 晶体管互补构成的集成电路，因此又称为互补型 MOS 集成电路。

（2）膜集成电路

厚膜集成电路是在玻璃或陶瓷片等绝缘物体上，以“膜”的形式制作电阻、电容等无源器件。无源元件的数值范围可以做得很宽、精度可以做得很高，但目前的技术水平尚无法用“膜”的形式制作晶体二极管、三极管等有源器件，因而使厚膜集成电路的应用范围受到很大的限制。

根据膜的厚薄不同，膜集成电路又分为厚膜集成电路（膜厚为 1～10μm）和薄膜集成电路（膜厚为 1μm 以下）两种。

（3）混合集成电路

在无源膜电路上外加半导体集成电路或分立元件的二极管、三极管等有源器件，使之构成一个整体，这便是混合集成电路。

3．按集成度高低不同分类

集成电路按其集成度高低不同，可分为小规模、中规模、大规模及超大规模集成电路四类。对模拟集成电路而言，由于工艺要求较高、电路又较复杂，所以一般认为集成 50 个以下元器件的为小规模集成电路；集成 50～100 个元器件的为中规模集成电路；集成 100 个以上的元器件为大规模集成电路。对数字集成电路而言，一般认为集成 1～10 等效门 / 片或 10～100 个元件 / 片为小规模集成电路；集成 10～100 个等效门 / 片或 100～1000 元件 / 片为中规模集成电路；集成 100～10000 个等效门 / 片或 1000～100000 个元件 / 片为大规模集成电路；集成 10000 以上个等效门 / 片或 100000 以上个元件 / 片为超大规模集成电路。

3.9.2　集成电路的构成

1．集成电路的外形框架

集成电路外形有圆形、扁平形和扁平三角形等多种，常用集成电路的外形和图形符号如图 3-76 所示。

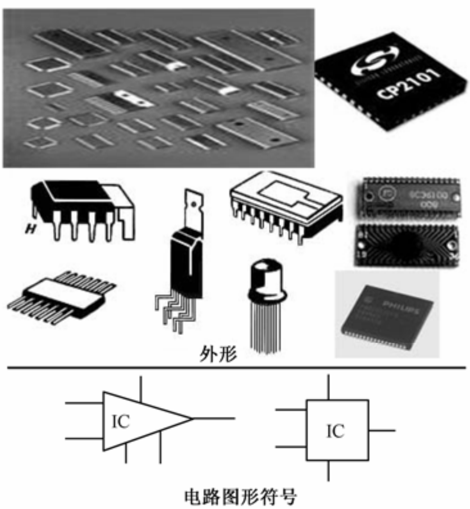
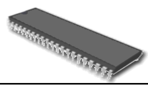
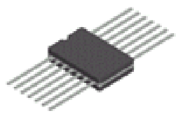
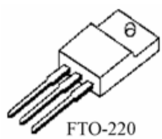


图3-76　常用集成电路的外形和图形符号

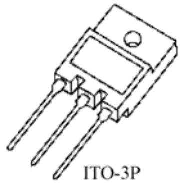
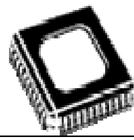
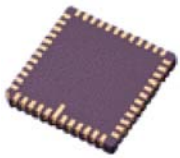
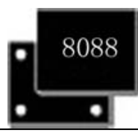
2．集成电路的封装形式

集成电路的封装材料主要有金属、陶瓷和塑料三种。其中，圆形结构的集成电路一般采用金属封装。扁平形直插式结构的集成电路一般采用陶瓷或塑料封装。目前使用的集成电路多为扁平形。表 3-7 所示为常用集成电路封装图。

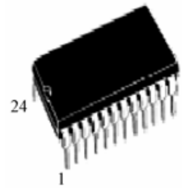
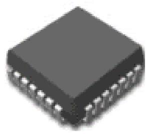
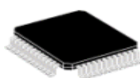
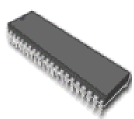
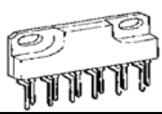
表 3-7 常用集成电路封装图

封装缩写	封装图
CDIP	
DIP	
Flat	
FTO-220	
HSOP-28	
ITO-220	

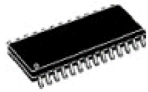
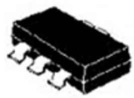
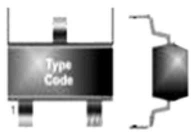
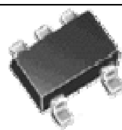
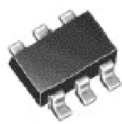
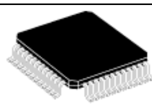
续表

封装缩写	封　装　图
ITO-3P	
JLCC	
LCC	
LDCC	
LGA	
LLP 8LA	
LQFP	

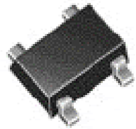
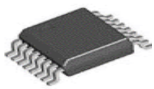
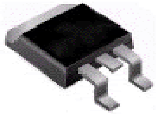
续表

封 装 缩 写	封 装 图
OPGA	
PCDIP	
PLCC	
PQFP	
PSDIP	
QFP	
SDIP	
SIP	

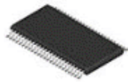
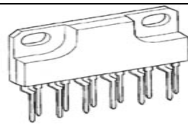
续表

封装缩写	封装图
SO	
SOJ	
SOT223	
SOT23	
SOT-23\SOT323	
SOT-25\SOT353	
SOT26	
SOT26\SOT363	

续表

封装缩写	封装图
SOT343	
SOT343	
SOT523	
SOT89	
SSOP	
TO-252	
TO-263	

续表

封 装 缩 写	封　装　图
TO-263\TO268	
TSOP	
TSSOP	
ZIP	

3．集成电路的引脚排列

集成电路的引脚有多列直插式和单列直插式两种。各种不同用途的集成电路的引出脚数目不等，有 8 脚、10 脚、12 脚等，最多的有一百多个引脚。这些引脚的排列次序都有一定的规律，且通常有色点、凹槽、管键等标记。

3.9.3　集成电路的参数

集成电路的主要参数有电源电压、耗散功率、工作环境温度等。

1．电源电压

电源电压是指集成电路正常工作时所需的工作电压。通常，模拟集成电路的电源电压用“V_{CC}”表示，数字集成电路的正电源电压用“V_{DD}”表示，负电源电压用“V_{EE}”表示。

2．耗散功率

耗散功率是指集成电路在标称的电源电压及允许的工作环境温度范围内正常工作时所输出的最大功率。

3．工作环境温度

工作环境温度是指集成电路能正常工作的环境温度极限值或温度范围。

3.9.4 集成电路的应用

在电力电子设备中，集成电路的应用非常广泛，每年都有许许多多通用或专用的集成电路被研发或生产出来，下面对一些常用集成电路的应用进行阐述。

1．厚膜集成电路

厚膜集成电路一般用在电视机的开关电源电路中或音响系统的功率放大电路中，部分电视机的伴音电路和末级视放电路也使用厚膜集成电路。

开关电源电路使用的厚膜集成电路又称为电源厚膜集成电路，它主要用于脉冲宽度控制、稳压控制及开关振荡等。功率放大电路使用的厚膜集成电路又称为音频功率厚膜集成电路或音频功放集成电路，它的主要作用是对输入的音频信号进行功率放大，以推动扬声器发声。

此外，目前市场上流行的“傻瓜”型厚膜集成电路也称功率模块，它是将半导体功放集成电路及其外围的电阻、电容、电感等元器件封装在一起构成的。这种厚膜集成电路只要接通音源、电源和扬声器即可工作，不用外加其他元器件。

2．微处理器集成电路

微处理器集成电路简称 CPU，它是整机的系统控制中枢，广泛应用于彩色电视机、影碟机、空调器、全自动洗衣机等电子产品中。微处理器集成电路主要由 CPU 控制中心、总线、存储器、时钟振荡器、输入/输出接

口等电路组成。CPU 根据输入的键控指令、遥控指令及各种状态信息，通过输出接口电路对整机有关电路进行系统控制。有的 CPU 还内置了显示驱动电路，可以直接驱动荧光显示屏或液晶显示屏。

3．数字集成电路

数字集成电路可分为 TTL 数字集成电路、CMOS 数字集成电路和 ECL 数字集成电路等种类，它们的逻辑电平不同。这类集成电路在液晶彩色电视机、数控机床中应用得较多。

（1）TTL 数字集成电路

TTL 数字集成电路是晶体管逻辑电路的英文缩写。TTL 数字集成电路属于双极型晶体管集成电路，它又分为 N-TTL、LS-TTL、ALS-TTL、AS-TTL、S-TTL 等多种，其工作频率低于 100MHz。

（2）CMOS 数字集成电路

CMOS 数字集成电路是互补型金属氧化物半导体电路的英文缩写。CMOS 数字集成电路的种类较多，但最常用的是门电路，其工作频率低于 100kHz。CMOS 门电路中的逻辑门有非门、与门、与非门、或非门、或门、异或门、异或非门（同或门）、施密特触发门、缓冲器和驱动器等。

（3）ECL 数字集成电路

ECL 数字集成电路与 TTL、COMS 数字集成电路相比具有工作频率高、频率范围大（100～1000MHz）等特点，一般采用负电源供电。

4．遥控集成电路

遥控集成电路在彩色电视机中是必用元器件。遥控集成电路包括红外线遥控集成电路、无线遥控集成电路和超声波遥控集成电路。

（1）红外线遥控集成电路

根据功能不同分类，红外线遥控集成电路大致可分为两大类：一类是红外线遥控发射集成电路，用于将代表各种指令的编码信号调制在红外线载体（红外线发光二极管）上，通过发射驱动电路向外辐射包含指令的红外光波；另一类是红外线遥控接收集成电路，用于将光敏管接收的红外光波（已调制的含有控制指令的红外光波）转换为电信号，再将其解调还原

为编码信号，送到译码电路译码后得到各种控制指令。彩色电视机中常用此类遥控集成电路。

（2）无线遥控集成电路

无线遥控集成电路是用无线电波作为载体来传输控制指令的。无线遥控集成电路也可分为无线遥控发射集成电路和无线遥控接收集成电路两大类。

（3）超声波遥控集成电路

超声波遥控集成电路是利用超声波来传送控制指令的。它分为超声波遥控发射集成电路和超声波遥控接收集成电路两大类。其中，超声波接收集成电路内部由放大电路、检波电路、整形电路和双稳态电路等组成；超声波发射集成电路内部由振荡器、单脉冲放大器等组成。

5．其他集成电路

（1）语音集成电路

语音集成电路又称语音掩模 ROM 或语音合成集成电路，其内部有存储器等电路。它是一种大规模 CMOS 集成电路，分为语言集成电路和音乐集成电路。厂家在生产语音集成电路时，将语言或音乐等信息以数字代码的形式储存固化在集成电路内部，当该集成电路受到触发时，即可输出所储存的信息。

（2）声光集成电路

声光集成电路是一种既能够产生声音（音乐或模拟声响）、又可以驱动发光器件的专用集成电路，属于音乐集成电路的同类产品，它可以直接驱动压电蜂鸣器、扬声器和发光二极管等。

（3）时基集成电路

时基集成电路是集模拟电路与数字电路于一身的多功能集成电路，其内部一般由电阻分压器、电压比较器、与非门逻辑电路、输出电路及放大电路等组成，它既能产生周期性时钟信号，又能产生具有一定规律的时序信号，与有关外围元件可构成定时器、触发器、振荡器或驱动器等电路。

3.9.5　集成电路的检测

1．集成电路的检测方法

集成电路常用的检测方法有在线测量法、非在线测量法和代换法三种，下面介绍其具体操作方法。

（1）非在线测量法

非在线测量法在集成电路未焊入电路时，通过测量其各引脚之间的直流电阻值与已知正常同型号的集成电路各引脚之间的直流电阻值进行对比，以确定其是否正常。

（2）在线测量法

在线测量法就是使用万用表直接测量集成电路在电路板上各引脚的直流电阻、对地交直流电压是否正常，来判断该集成电路是否损坏。常用的测量方法有直流电阻检测法、直流工作电压检测法、交流工作电压检测法三种。

（3）代换法

代换法是用已知完好（有的还要写入数据）的同型号、同规格集成电路来代换被测集成电路，可以判断出该集成电路是否损坏。

2．集成电路质量的判别方法

判断集成电路质量的好坏，可采取一看、二检、三测的方法。

一看。一看是观察集成电路封装是否标准，型号标注的图案、字迹是否清晰，产地、商标及出厂编号是否齐全，生产日期是否较短等，以保证其基本质量。

二检。二检是检查集成电路的引脚是否存在腐蚀、折断、穿孔等现象，正常集成电路的引脚应光滑泽亮，无缺陷且烤漆完好无损。

三测。三测是测量集成电路的所有引脚电压是否在额定值以内，若正常，再测量集成电路引脚上当前的输入信号与输出信号是否符合要求，以及与之相连接的外围电路有无开路或短路现象。

3．常用集成电路的检测方法

（1）微处理器集成电路的检测

微处理器集成电路的关键测试点主要有 V_{DD} 电源端、RESET 复位端、XIN 晶振信号输入端、XOUT 晶振信号输出端及其他各线输入、输出端。在线测量这些关键点的对地电阻值和电压值，并与正常值相比较，即可判断该集成电路是否正常。

需要指出的是，不同型号的微处理器的 RESET 复位电压也不相同，有的是低电平复位，即在开机瞬间为低电平，复位后维持高电平；有的是高电平复位，即在开关瞬间为高电平，复位后维持低电平。

（2）开关电源集成电路的检测

开关电源集成电路的关键测试点主要是电源端（V_{CC}）、激励脉冲输出端、电压检测输入端、电流检测输入端。测量各引脚对地的电压值和电阻值，然后与资料上的正常值进行比较，若相差较大，还应检测相关的外围元件，在确定外围元件正常的情况下，则可判断该集成电路已损坏。

在开关集成电路中开关管是核心元件，有些厚膜块集成了开关管，对这些内置了大功率开关管的厚膜集成电路，可以通过测量开关管 C、B、E 极之间的正、反向电阻值，来判断厚膜块是否正常。

（3）音频功放集成电路的检测

音频功放集成电路的关键测试点主要是电源端（正电源端和负电源端）、音频输入端、音频输出端和反馈端。检测时，可用万用表测量上述各点的对地电压值和电阻值。若测得各引脚的数据值与正常值相差较大，但检查外围元件无异常，则说明是该集成电路内部损坏。

对引起无声故障的音频功放集成电路，测量其电源电压正常时，可用信号干扰法进行检查。测量时，万用表应置于 R×1 挡，将红表笔接地，用黑表笔点触音频输入端，正常时扬声器中应有较强的“喀喀”声。

（4）运算放大器集成电路的检测

运算放大器集成电路的关键测试点主要是输入端和输出端。检测时，可用万用表直流电压挡测量运算放大器输出端与负电源端之间的电压值（在静态时电压值较高）。用手持金属镊子依次点触运算放大器的两个输入端（加入干扰信号），若万用表表针有较大幅度的摆动，则说明该运

算放大器完好；若万用表表针不动，则说明运算放大器已损坏。

（5）时基集成电路的检测

时基集成电路内含数字电路和模拟电路，用万用表很难直接测出其好坏。最好是采用代换法或自制一专用的测量电路进行测量。

4．检测集成电路时应注意的事项

检测集成电路之前，应通过查阅手册和相关资料，对被测集成电路的线路走向、各引脚的作用、内部电路及各引脚的正常电压、外部电路的作用等情况有所了解，避免盲目动手检测。在检测集成电路时，应注意以下几个事项：

① 检测集成电路时，不能用外壳接地的仪器直接进行测试，因为有些家用电器底盘带电，直接测量极易使测量仪器与电器之间形成电源短路，从而引起故障。因此，检测时，应加入 1∶1 的隔离变压器。

② 集成电路板上的元件较多，因而其引脚间隙较小，在用万用表或示波器检测时，务必小心，防止表笔滑动而造成集成电路的引脚之间短路。因此，最好不要直接测量引脚，而测量与引脚直接连通的印制电路板上的其他点。

③ 检测时，应尽可能使用一些辅助工具进行操作（如集成电路测试仪、起拔钳、吸锡器等），以避免损坏电路。

④ 由于集成电路一般都采用直接耦合的方式，在某些情况下外电路故障会引起其引脚电压发生变化，所以当测量到某一引脚电压发生变化时就判断集成电路有故障不一定完全正确。因此，对集成电路的好坏应多加分析，不要轻易下结论。

3.9.6　集成电路的代换

集成电路代换分为直接代换和非直接代换两种，下面作具体介绍。

（1）直接代换

直接代换是指使用同型号或不同型号的集成电路，不经任何改动而代换原集成电路，代换后不影响机器的主要性能与技术指标。

① 同一型号集成电路的代换

采用同型号集成电路代换是一种最理想的选择，只要在安装时方向不搞错，一般是可靠的。也有一些单列直插式功放集成电路，虽然型号、功能、特性均完全相同，但引脚排列顺序的方向往往有所不同，因而在代换时应注意区分。

② 不同型号集成电路的代换

不同型号集成电路的代换一般有以下三种情况：

第一种是型号前缀字母相同，数字不同，但引脚功能完全相同，这两种集成电路可以互换。

第二种是型号前缀字母不同，数字相同。一般情况下，只要数字相同，说明性能和基本参数是基本相同的，可以代换；但也有少数集成电路虽然数字相同，却不能代换。因为前缀字母除用来表示生产厂家代号外还表示电路类别，不同类别的电路，其功能完全不一样。

第三种是型号前缀字母和数字都不相同，但功能却完全相同。对于这一类型产品的代换，除了要从数据方面对二者的基本功能加以比较，还应根据实物的结构（如引脚）加以比较，完全确认后才能代换。

（2）非直接代换

非直接代换是指对代换的集成电路增减个别元件或修改引脚的排列，使之成为可代换的集成电路后再进行代换的一种方法。一般有以下几种代换方式：

① 同类型不同封装集成电路的代换

对于同类型而封装形式不同的集成电路，其引脚功能应该是相同的，只是引脚的排列方式和顺序有些不同而已。代换时应首先对用来代换的集成电路的引脚按原集成电路的引脚排列进行整形处理，使二者的引脚排列一样时，再接入电路即可使用。

② 电路功能相同但个别引脚功能不同的集成电路的代换

代换前应对新集成电路和原集成电路引脚的功能进行比较，参看相关资料找到不同点后才能进行。

（3）用分立元件进行代换

用分立元件代换，实际上就是对集成电路中的损坏元件进行修复，使

其恢复功能。由于集成电路是由很多分立元件组成的，代换时，必须对该集成电路的电路基本结构、工作原理、引出脚的正常电压、波形图及外围元件组成电路的工作原理有所了解。

3.9.7 集成电路的拆装

1．集成电路的拆卸方法

在电路检修中，如果集成电路损坏，必须先将已坏的集成电路从电路板上拆卸下来才能更换新的集成电路。但由于集成电路的引脚又多又密，拆卸时不但很麻烦，甚至还会损坏集成电路和电路板。下面介绍几种简便且行之有效的方法。

（1）吸锡拆卸法

常用的吸锡拆卸方法有以下两种：一种是金属编织带吸锡法。金属编织带吸锡法，即取一段多股金属编织带，浸上松香精溶液，用电烙铁对集成电路的引脚和编织带同时加温，当加温到一定温度后，引脚上的焊锡溶化被编织带吸附住，然后将编织带吃上锡的段剪去。再用同样的方法去吸其他引脚上的焊锡，待全部引脚上的焊锡被吸完后，用小刀轻轻托起集成电路将其卸下。另一种是采用专用吸焊两用烙铁吸锡法。采用专用吸、焊两用烙铁（功率一般为 25～35W）拆卸集成电路时，首先应插上电源加热，当加热到一定程度时，将电烙铁头放在集成电路的引脚上，待焊点熔化后被吸入吸锡器内，全部引脚的焊锡吸完后，再用专用工具将集成电路从电路上拆下。

（2）医用空心针头拆卸法

取一支内径刚好套住集成电路引脚的医用针头和一尖嘴电烙铁。使用时用烙铁加热引脚焊锡使其熔化，及时用针头套住引脚，然后松开烙铁并旋转针头，等焊锡凝固后拔出针头，这时该引脚已与印制电路板完全分离开。所有引脚如此做一遍后，集成电路就可取下。

（3）熔焊扫刷拆卸法

采用一把电烙铁和一个毛刷，先将电路铁加热，待加热到一定程度时将集成电路引脚上的焊锡熔化，并趁热用毛刷将熔化的焊锡扫掉，使引脚

与电路板完全分开后，再用小刀将集成电路取下。采用熔焊扫刷拆卸法拆卸集成电路时，应注意掌握电烙铁的温度，既要熔化焊点使引脚与电路板分离，又不要加热过度，以防止损坏电路板。

（4）增焊拆卸法

增焊拆卸法，即在待拆卸的集成电路的引脚上再增加一层焊锡，使每列引脚的焊点连接起来，便于传热。然后再用电烙铁对其加热，并在加热的同时用一只小规格一字螺丝刀轻轻撬动各引脚，一般每列引脚加热两次即可拆卸下来。

（5）拉线拆卸法

对于贴片式集成电路的拆卸可采用拉线法，其具体操作方法是：取一根长度和粗细合适的漆包线，将其一端刮净上锡后，从集成电路引脚的底部穿过，并将这一端焊在电路板的某一焊点上，然后按拉线穿过引线的顺序从头至尾用电烙铁对其加热，并在加热的同时用手捏起拉线向外拉，即可使引脚与电路板脱离。

（6）用热风枪加热拆卸法

对于微型片状集成电路可采用热风枪加热拆卸，其具体做法是：用尖头电烙铁加热后将松香均匀涂在片状集成电路引脚的四周，以防止焊下时损坏焊盘。启动热风枪，待温度恒定后，将热风枪对集成电路的引脚进行加热，操作时速度要快，使各引脚焊盘均匀熔化。用镊子将集成电路推离焊盘，即可卸下集成电路。

（7）牙签拔取拆卸法

牙签拔取拆卸法，实际上是采用竹制牙签并配合电烙铁来进行拆卸，其具体作法是：右手拿电烙铁将集成电路引脚的焊锡熔化，左手则持牙签将集成电路的引脚挑离印制电路板，如此反复几次即可拆下集成电路。

2．集成电路的焊接方法

（1）焊接前的准备工作

集成电路引脚多而密，一块小小的集成电路有几十个甚至上百个引脚，焊接难度很大。因此，在焊接前必须做好以下准备工作。

① 焊接工具：选用功率为 25W 左右的电烙铁，烙铁头应为尖嘴形，并用锉刀修整尖头，防止在施焊时尖头上的毛刺拖动引脚。最好选用降静电且带吸锡器的电烙铁。

② 焊接材料：焊接材料主要是松香、焊锡丝、焊锡膏和香蕉水（又名天那水）、纯酒精等，焊锡丝一定要选用低熔点的。

③ 清理电路板：焊接前用电烙铁对电路板进行平整，用小毛刷蘸上天那水将电路板上准备焊接的部位刷净，仔细检查电路板印制电路板有无起皮、断落现象。若有起皮现象，只需平整一下就可以了，若有断落，则需要用细铜丝连接好。

④ 引脚上锡：新集成电路在出厂时其引脚已上锡，不必做任何处理。如果是用过的集成电路，需清除引脚上的污物，并对引脚上锡和调整处理后才能使用。

（2）焊接集成电路的具体操作

先将集成电路摆放在电路板上，将引脚对正，并将每列引脚的首、尾脚焊好，以防止集成电路移位，然后采用“拉焊”法进行施焊。所谓拉焊，就是在电烙铁头上带一小滴焊锡，将电烙铁头沿着集成电路的整排引脚自左向右轻轻地拉过去，使每一个引脚都被焊接在电路板上。焊接完毕后，应对每一个焊点进行检查，若某一焊点存在虚焊，可用电烙铁对其补焊；最后用纯酒精棉球擦净各引脚，以除去引脚上的松香及焊渣。

（3）焊接时应注意的事项

① 焊接时使用的电路铁应不带电或接地。在电烙铁烧热后应拔下电源插头或者应使用烙铁外壳有良好的接地，以避免感应电击穿集成电路。

② 焊接集成电路时要注意其最高温度和最长时间。一般集成电路焊接时所受的最高温度是 250℃、时间为 10s 或 350℃、时间为 3s，这是指一块集成电路全部引脚同时浸入离封装基座平面的距离为 1～1.5mm 所允许的最高温度和最长时间，所以浸焊的最高温度一般应控制在 250℃左右，焊接时间应少于 6s。

③ 一些大功率集成电路都有良好的散热条件，在更换集成电路时，应将散热片重新固定好，使之与集成电路紧密接触，以防止集成电路受热而损坏。

④ 安装散热片时应注意的事项

安装散热片时应注意：在未确定功率集成电路的散热片是否应该接地前，不要随意将地线焊到散热片上；散热片的安装要平，紧固转距要适中，以免损坏集成电路；安装前应将散热片与集成电路之间的灰尘、锈蚀清除干净，并在两者之间垫上散热硅脂，用以降低热阻；散热片安装后，通常用引线焊接到印制电路板的接地端上。

3.10 电阻器

3.10.1 色环电阻器的检测

对色环电阻器的检测主要是使用万用表的欧姆挡测量它的阻值，判别它有无出现开路、短路、阻值变化等故障，具体检测方法有“在路检测”和“开路检测”两种。

用指针式万用表检测色环电阻器，即对独立的电阻组件进行测试，方法如图 3-77 所示。这种测试方法又称开路测试法，测试前应先将万用表调零（如图 3-78 所示），将量程拨到 R×1k 挡位置，把万用表的红表笔与黑表笔相碰，调整调零旋钮，使万用表指针准确地指零，然后再进行测试。并且在测试中每次变换量程，都必须重新调零后再使用。

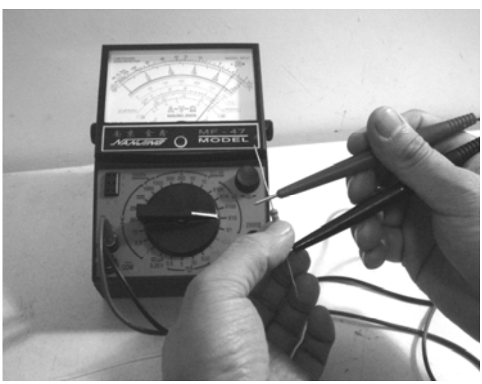


图3-77 用指针式万用表检测色环电阻

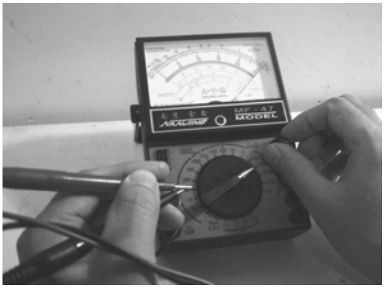


图3-78　指针式万用表调零

为了提高测量精度，应根据被测电阻标称值的大小来选择量程。由于欧姆挡示数的非线性关系，它的中间一段分度较为精细，因此应使指针指示值尽可能落到刻度的中段位置，即指示于 1/3～2/3 满量程处，以使测量更准确。例如，50Ω以下的电阻可用 R×1Ω挡；50～1000Ω的电阻用 R×10Ω挡；1～500kΩ的电阻可用 R×1kΩ挡；500kΩ以上的电阻用 R×10kΩ挡。在测试中，如果万用表指针摆动幅度太小，则有可能是所选量程太小，此时可继续加大量程。如果万用表指针停在无穷大处不动，则可把万用表的量程开关拨到更大的量程上，并重新调零后再进行测试。

色环电阻的阻值虽然能以色环标志来确定，但在使用时最好还是用万用表测试一下其实际阻值。万用表的电阻量程分为几挡，其指针所指数值与量程数相乘即为被测电阻器的实测阻值。在观测被测电阻的阻值读数时，两眼应位于电表指针的正上方（即万用表应与眼睛呈垂直放置），若表盘内有一弧形反射镜，当看到指针与其镜中的影像重合时方可读数。若指针位于两条刻度线之间，除了将刻度线所代表的阻值读出外，还应再估计一下刻度间的数值。

例如，把万用表的功能选择开关旋转到 R×1kΩ挡时，把红、黑表笔如图 3-78 所示进行短接，并调整调零旋钮使指针指零，然后如图 1-19 所示将两表笔（不分正负）分别与电阻的两端引脚相接，此时若万用表指针指示在“5”上，则该电阻器的阻值为 5×1kΩ=5kΩ。在测试中，万用表所测阻值读数应与电阻的标称阻值相符。根据电阻误差等级不同，读数与标称阻值之间分别允许有±5%、±10%或±20%的误差。如不相符，超出误差范围，则说明该电阻已变值；若测得的阻值为无穷大、阻值为零或阻值不稳

定，则表明该电阻已损坏，不能再继续使用。

3.10.2 电位器的检测

检测电位器时，首先要转动旋柄，看看旋柄转动是否平滑，开关是否灵活，开关通、断时“咔嗒”声是否清脆，并听一听电位器内部接触点和电阻体摩擦的声音，如有“沙沙”声，说明质量不好。用万用表测试时，先根据被测电位器阻值的大小，选择好万用表的合适电阻挡位，然后可按下述方法进行检测。

（1）测量电位器的标称阻值

如图 3-79 所示，用万用表黑、红表笔与电位器的“1”、“3”挡相接触，观察万用表指示的阻值是否与电位器外壳上的标称阻值一致。若万用表的指针不动或阻值相差很多，则表明该电位器已损坏。

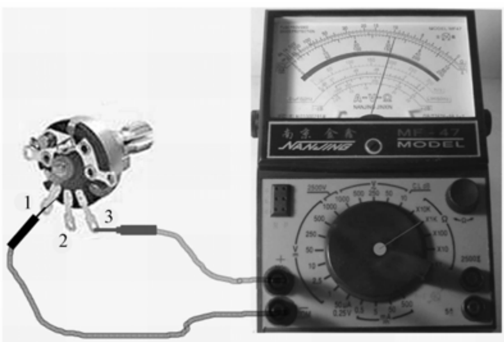


图3-79 测量电位器的标称阻值

（2）检测电位器的活动臂与电阻体的接触情况

如图 3-80 所示，首先将万用表的一支表笔接“2”，另一支表笔接“1”（或“3”），再将电位器的转轴从一个极端位置旋转或滑动至另一个极端的位置，阻值应从零（或标称阻值）连续变化到标称阻值（或零）。在电位器的轴柄转动或滑动过程中，若万用表指针平稳移动，则说明被测电位器良好；若指针有跳动现象，则说明被测电位器的活动触点有接触不良的故障。

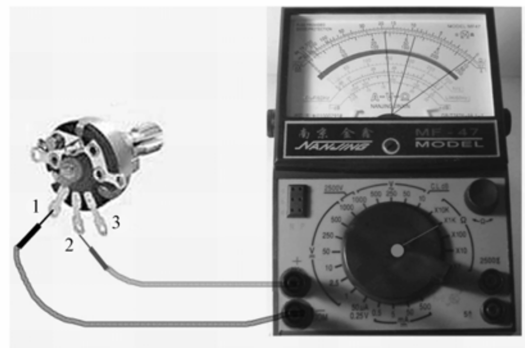


图3-80　检测电位器活动臂与电阻体的接触情况

需要指出的是，对于反转对数式（或对数式）电位器，当轴柄旋转或滑动均匀时，其表针的移动是不均匀的。一般来说，若开始时较快，则结束时较慢；若开始时较慢，则结束时较快。另外，在电位器轴柄的旋转或滑动过程，不应出现响声，且不应有过松过紧现象。

（3）检测外壳与引脚的绝缘情况

用万用表 R×10kΩ挡的一支表笔接电位器的外壳，另一支表笔逐个接触“1～5”端，阻值均应为无穷大。若所测阻值为零或有阻值，则说明所测电位器的外壳与引脚存在短路的故障。

（4）检查带开关的电位器的“开关”是否良好

检查前，应旋动或推拉电位器柄，随着开关的“断开”和“接通”，应有良好的手感，同时可听到开关触点弹动发出的响声。然后按如图 3-81 所示，先用万用表 R×1kΩ挡一支表笔接“4”端、另一支表笔接“5”端，再旋转电位器的轴柄，使开关“开”—“关”，同时观察万用表指针是否“通”或“断”（应“开”、“关”多次，并观察是否每次都反应良好）。正常情况下，当开关接通时，测量阻值应为零或接近零；当开关断开时，测量阻值应为无穷大。如果开关为双联型，则两个开关均应符合上述要求。若开关在“开”的位置，阻值不为零，则说明内部开关触点接触不良；若开关在“关”的位置，阻值不为无穷大，则说明内部开关已失控。

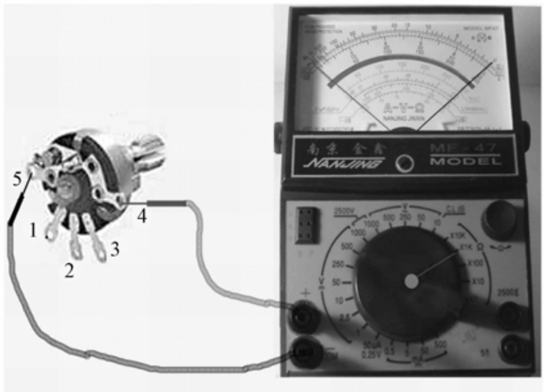


图3-81　检测带开关的电位器开关的好坏

（5）测试同步电位器的同步特性

对于同步双联或多联电位器，还应检测其同步特性。其具体做法是：在电位器触点滑动的整个过程中选择 4～5 个分布间距较均匀的检测点，在每个检测点上分别测双联或多联电位器中每个电位器的阻值，各相应阻值应相同，误差一般在±1%～±5%。若所测阻值与上述不符，则说明所测电位器的同步特性较差。

3.11　电容器

3.11.1　固定电容器的检测

电容器的质量好坏主要表现在电容量和漏电阻上。电容量可用电阻电容测量仪、交流阻抗电桥或万用电桥进行测量，漏电阻也可用绝缘电阻测定仪、绝缘电阻表等专用仪器进行测定。下面主要介绍用万用表对固定电容器进行定性量检测的方法。

（1）检测电容量大于 0.01 微法（μF）的固定电容器

根据电容器的充放电原理，可用万用表 R×10kΩ挡进行测量。测量时，将两表棒分别接触电容器的两引线，如图 3-82 所示。此时，表针会迅速地顺时针方向跳动或偏转，然后再按逆时针方向逐渐返回“∞”处。如果不能返回到“∞”，则表针稳定后所指的读数就是该电容器的漏电电阻值（一般电容器的漏电电阻很大，约几百兆欧到几千兆欧）。漏电电阻越大，则电容器的绝缘性能越好。若阻值比上述数据小得多，则说明电容器严重漏电；若表针稳定后靠近“0”处，则说明电容器内部短路；若表针毫无反应，始终停在“∞”处，则说明该电容器内部已开路。



图3-82　用万用表检测0.01μF以上的固定电容器

（2）检测电容量小于 10 皮法（pF）以下的固定电容器

由于 10pF 以下的固定电容器容量太小，用万用表进行测量，只能定性地检查其是否有漏电、内部短路或击穿现象。测量时，可选用万用表 R×10kΩ挡，用两表笔分别任意接固定电容器的两个引脚，如图 3-83 所示。正常时阻值应为无穷大，若测出阻值（指针向右摆动）为零，则说明电容器漏电损坏或内部击穿。

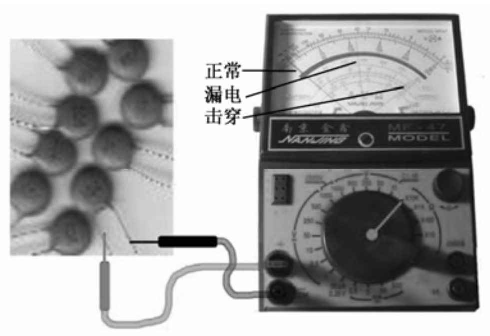


图3-83 用万用表检测10pF以下的固定电容器

（3）检测电容量在 10 皮法（pF）～0.01 微法（μF）之间的固定电容器

容量在 10pF～0.01μF 之间的固定电容器，按上面介绍的方法对其进行测试，由于万用表指针摆幅很小甚至看不出抖动现象，所以无法判断被测电容器的好坏。对于此类情况，可采用晶体三极管放大的辅助方法进行检测，也就是用复合管配合万用表进行检测。

采用此方法进行检测时，万用表的量程开关应拨至 R×1kΩ挡，具体检测电路如图 3-84 所示，图中 C_X 为被测电容。晶体三极管 Q1、Q2 的β 值均为 100 以上，且穿透电流要小，可选用 3DG6 等型号的硅晶体三极管组成复合管。万用表的红、黑表笔分别与复合管的发射极 e 极和集电极 c 极相接。

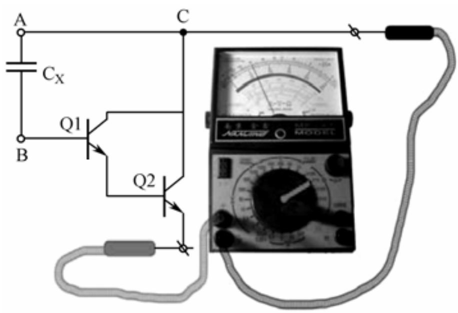


图3-84 用复合管配合万用表检测10pF～0.01μF固定电容器

测试时，在 A、B 两点之间插入电容器 C_X，万用表的指针能摆动到表盘的中间位置。当 C_X 的引脚与 A、B 两点相接后，如果万用表指针迅速由左向右（向阻值为零的方向），然后返回到“∞”处，则说明被测电容器 C_X 良好。若万用表指针静止不动，则说明 C_X 内部断开；若指针能偏转回摆，但回摆不到原先所指的位置，则说明 C_X 漏电严重；若指针偏转后就停止不动，不再返回到“∞”处，则说明 C_X 内部已短路。

由于复合晶体三极管的放大作用，把被测电容的充放电过程予以放大，使万用表指针摆动幅度加大，从而便于观察。需指出的是，在测试操作时，特别是在测量小容量的电容时，要反复调换被测电容引脚，这样才能明显地看到万用表指针的摆动情况。

3.11.2　可变电容器的检测

可变电容器在电路中，多用来改变槽路的谐振频率。因此对可变电容器的检查主要是检查其转轴机械性能以及判断动、定片之间的结构是否良好或是否碰片、漏电等。

1．检查电容器

当转动收音机里的调谐电位器时，会不断地听到“咯咯”声，这一般都是可变电容器接触不良所致（在没有其他故障的情况下）。如果发现某电台在某位置上有播音声时又突然没有声音了，过一会儿又有声音，说明此可变电容器有碰片的故障。可变电容器只能转动 180°，如果某电容器能转过 360°，则说明定位脚已经损坏了。这样的可变电容器会使刻度上的电台位置混乱。

2．检查转轴的机械性能

用手轻轻旋动转轴，应感觉十分平滑，不应感觉有时松时紧甚至有卡滞现象。将转轴向前、后、上、下、左、右等各个方向推动时，转轴不应有松动现象。用一只手旋动转轴，另一只手摸动片组的外缘，不应感觉有任何松脱现象。转轴与动片之间接触不良的可变电容器，是不能再继续使用的。

3．检查动片与定片之间是否有碰片或漏电

用万用表 R×10kΩ挡，把红、黑表笔分别接在可变电容器的定片和动片脚上，如图 3-85 所示。然后慢慢转动转轴，同时观察万用表指针的摆动情况。正常时，在旋动转轴的过程中，动片不管转到哪里，表针均指在“∞”处。如果指针有时指向“0”，则说明动片和定片之间存在碰片短路点；如果旋到某一角度，指针指示一定阻值，则说明动片与定片之间存在漏电。

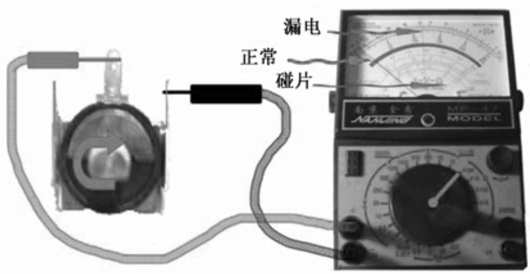


图3-85 用万用表检测可变电容器有无碰片、短路

3.12 电感器

3.12.1 电感器好坏的检测

电感器的故障大部分是“断路”。可先用万用表测量其电阻值，如发现电阻值为无穷大，便可判定电感线圈断路。对于短路严重的电感线圈，也可通过测量其电阻值来判定。至于局部短路，往往是不能检测出来的，在检修的过程中，只能用代换法。测量过程中还应注意线圈与外电路断开，以避免外电路对线圈的并联形成错误判断。

普通的指针式万用表不具备专门测试电感器的挡位，使用这种万用表只能大致测量电感器的好坏。具体方法如图 3-86 所示，在停电的状态下，测试电感器 L_X 两端的阻值。一般高频电感器的直流内阻在零点几欧到几欧之间，低频电感器的内阻在几百欧至几千欧之间，中频电感器的内阻在

几欧到几十欧之间。测试时要注意，有时电感器圈数少或线径粗，直流电阻很小，即使用 R×1Ω挡进行测试，阻值也可能为零，这属于正常现象，如果阻值很大或为无穷大时，则表明该电感器已经开路。对于具有金属外壳的电感器，如果检测得振荡线圈的外壳（屏蔽罩）与各引脚之间的阻值不是无穷大，而是有一定电阻值或为零，则说明该电感器存在问题。



图3-86　用指针式万用表检测电感器

3.12.2　电源变压器的检测

电源变压器使用前或经过修理的电源变压器，都应进行检测。常用的检测项目及方法有以下几种。

1．判别一、二次侧线圈

低压电器的电源变压器初级引脚和次级引脚一般都是分别从两侧引出的，并且一次侧绕组大多标有 220V 字样，二次侧绕组则标出额定电压值（如 15V、24V、35V 等），可根据这些标记进行识别。对于没有任何标记或标记符号模糊的电源变压器，可通过用万用表电阻挡测量变压器各绕组的电阻值的大小来辨别一、二次侧线圈。通常，电源变压器的一次侧绕组所用漆包线的线径是比较细的，且匝数较多，而二次侧绕组所用线径都比较粗，且匝数较少。所以，一次侧绕组的直流电阻要比二次侧绕组的直流电阻大得多。

需要指出的是，有些电源变压器（如给电子管供电的变压器）带有升压绕组，升压绕组所用的线径比一次绕组所用线径更细，电阻更大，测试时要注意正确区分。

2．绝缘性能测试

电源变压器各线圈之间，以及各线圈、屏蔽层对铁心之间，均应有良好的绝缘性能。变压器绝缘电阻的大小，与其本身的温度高低、绝缘材料及潮湿程度、所加测试电压的高低及时间长短均有较大关系。

电源变压器的绝缘电阻通常要用 500V 绝缘电阻表进行测试，绝缘电阻值应大于 100MΩ。如果没有绝缘电阻表，也可用万用表对其进行粗测，方法如图 3-87 所示。

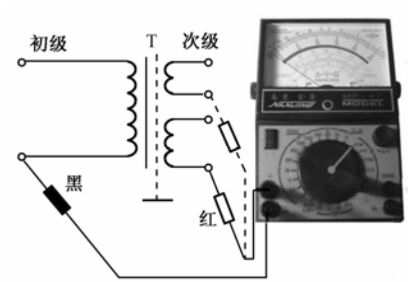


图3-87　检测电源变压器的绝缘性能

将万用表的量程开关拨至 R×10kΩ挡或 R×100kΩ挡，用一支表笔与变压器的任一绕组端子相接，另一支表笔分别与各绕组的一个端子、屏蔽层引出线、铁心相接触，所测阻值就是变压器这一绕组与各绕组、屏蔽层及铁心之间的绝缘电阻值。正常情况下，万用表指针均应指在“∞”处不动。通常各绕组（包括屏蔽层）间、各绕组与铁心间的绝缘电阻只要有一处低于 10MΩ，就应确认变压器绝缘性能不良。当测得的绝缘电阻小于几百欧到几千欧时，往往表明已经出现匝间短路或铁心与绕组间的短路故障了。

3．线圈通/断的检测

检查线圈的通、断时，应使用精确度较高的万用表。特别那些直流电

阻值达到欧姆级甚至小于 1Ω的绕组，检测时应仔细读数，尤其注意万用表调零准确和保证表笔与线圈端头接触良好。

如图 3-88 所示（以测一次侧线圈为例），用万用表 R×1Ω挡分别测量变压器二次侧各个绕组线圈的电阻值，一般二次侧线圈电阻值为几欧到几十欧，电压较高的二次侧线圈电阻值较大些。一次侧线圈电阻值一般为几十欧至几百欧，变压器功率越小（通常相对体积也小），则电阻值越大。如果在测试中，测得某个绕组的电阻值为无穷大，则说明此绕组有断路性故障。

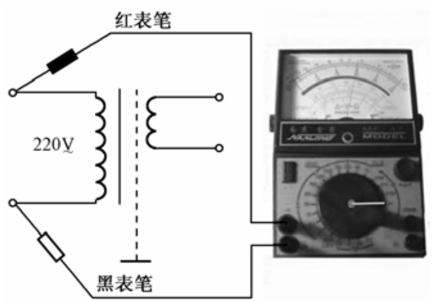


图3-88　用220V交流电源检测线圈的通断

3.13　电力晶体管

3.13.1　电力晶体管的性能特点

电力晶体管也称巨型晶体管（Giant Transistor），是一种双极型大功率、高反压晶体管，它具有自关断能力强、饱和压降低、开关时间短和安全工作区宽等特点，广泛地应用于载波器、稳压电源及交直流电动机调速领域。

GTR 与普通晶体管一样，也是一种放大器件，具有三种工作状态：放大状态、饱和状态和截止状态。在电力电子装置中，GTR 实际上是一个静止式的无触点开关，它的通断受基极驱动电流的控制。GTR 的缺点是：不

能承受超过其额定值的浪涌电压与电流的冲击，即使时间很短（微秒级）也可能对它造成损坏，用快速熔丝或快速断路器是不能对其进行保护的。

3.13.2 电力晶体管的种类

GTR 按其内部结构分类，可分为单管结构、达林顿管结构和达林顿模块结构。

（1）GTR 单管

GTR 单管有 NPN 和 PNP 两种类型，它与普通晶体管一样，都是由两个靠近的 PN 结构成的，一个是发射结；另一个是集电结。

单管 GTR 的电流增益较低，需要有相当大的门极驱动功率才能控制单管 GTR 的导通，这使单管 GTR 的门控工作困难、损耗相当大。故采用达林顿结构，以改善 GTR 的性能。

（2）GTR 达林顿管

采用达林顿结构是提高增益的有效方式，它由两个或多个晶体管复合组成，以达到用较少的组件获得较高的增益。此种晶体管的特点是：电流增益高，输出管不会饱和，但关断时间较长。如图 3-89 所示为 GTR 达林顿管的外形图。



图3-89 GTR达林顿管外形图

（3）GTR 模块

GTR 模块由 1～6 个基本电路封装在一起构成，每一个基本单元电路均由晶体管芯片、高速恢复晶体二极管芯片及加速晶体二极管芯片通过内部连接而组成的。图 3-90 是其外形图。通常，含单个基本单元电路的模块

有半导体芯片带绝缘外壳（绝缘型）和非绝缘外壳（非绝缘型）两种，含两个基本单元电路以上的模块都是绝缘外壳型。GTR 模块有 3～11 个端子供接线用，这些端子都布置在同一平面上，接线十分方便。



图3-90　GTR模块外形图

另外，还有一种 GTR 智能功率模块，它集驱动电路、保护电路和功率器件于一体。保护功能包括过电流保护、过热保护和控制电压欠压保护。这些功能都集成在一个模块内，封装于一个外壳内。模块结构紧凑，驱动电路功耗小，工作可靠性提高，使用方便。

3.13.3　电力晶体管的检测

电力晶体管的检测与普通晶体管的检测方法类似，也是通过检测单管各极之间的正反向电阻进行判断，不再重述。

附录A　常用电工英语

110～120V TRANSFORMER　110～120V 变压器
24V DC　24V 直流电源
AC MOTOR　交流电动机
ACTIVE POWER 有功功率
ANALOG -DIGITAL CONVERTER（ADC）　AD 转换器
ALARM　警报，告警器
ALTERNATING CURRENT CIRCUIT（AC）　交流电路
AMPERE　安培
AMPLIFIER　放大器
ANGULAR FREQUENCY　角频率
ANODE　阳极
APPARENT POWER　视在功率
ASYNCHRONOUS MOTOR　异步电动机
AVERAGE VALUE　平均值
BASE　基极
BEARING　轴承
BRANCH　支路
BUTTON　按钮
CAPACITANCE　电容
CAPACITIVE REACTANCE　容抗
CAPACITOR　电容器
CATHODE　阴极
CIRCUIT ELEMENT　电路元件
CIRCUIT MODEL　电路模型
CIRCUIT　电路

COLLECTOR　集电极
COMPARATOR　比较器
CONTACTOR　接触器
CURRENT　电流
DIGITAL-ANALOG CONVERTER（DAC）　DA 转换器
DC MOTOR　直流电动机
DIODE　二极管
DIRECT CURRENT CIRCUIT（DC）　直流电路
DRAIN　漏极
EFFECTIVE VALUE　有效值
ELECTRICIAN　电工，电学家
ELECTROMOTIVE FORCE　电动势
EMITTER　发射极
FARAD　法拉（电容单位）
FILTER　滤波器
FLUX DENSITY　磁通密度，又称磁感应强度
FLUX　磁通
FREQUENCY　频率
FULL-WAVE RECTIFIER　全波整流器
FUSE　熔丝，熔断器
GRID　栅极
HENRY　亨利（电感单位）
HERTZ　赫兹（Hz，频率单位）
IMPEDANCE　阻抗
INDUCTANCE　电感
INDUCTIVE REACTANCE　感抗
INDUCTOR　电感器
INITIAL PHASE　初相位
INSTANTANEOUS VALUE　瞬时值
JOULE　焦耳（功或能量的单位）

LEVEL　电平

LINE CURRENT　线电流

LINE VOLTAGE　线电压

LOOP　回路

MAGNETIC CIRCUIT　磁路

MAGNETOMOTIVE FORCE　磁通势

MAINTAIN　维修

NETWORK　网络

NEUTRAL LINE　中线

NODE　节点

N-CHANNEL　N 沟道

OHM’S LAW　欧姆定律

OHM　欧姆

OPEN CIRCUIT　断路（开路）

OPEN-CIRCUIT VOLTAGE　开路电压

OSCILLATOR　振荡器

PHASE CURRENT　相电流

PHASE DIFFERENCE　相位差

PHASE INVERSION　反相

PHASE VOLTAGE　相电压

PHASE　相位

PHASE-LOCKED LOOP（PLL）　锁相环

PHASOR DIAGRAM　相量图

PHASOR　相量

POTENTIAL DIFFERENCE　电位差，又称电势差

POTENTIAL　电位，又称电势

POWER FACTOR　功率因数

P-CHANNEL　P 沟道

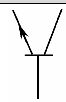
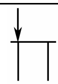
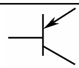
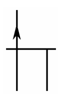
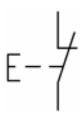
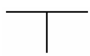
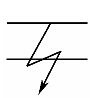
QUALITY FACTOR　品质因数

RATED CURRENT　额定电流

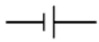
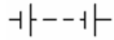
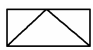
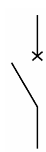
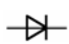
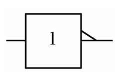
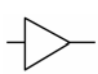
RATED POWER　额定功率
RATED VOLTAGE　额定电压
REACTANCE　电抗
REACTIVE POWER　无功功率
REFERENCE POTENTIAL　参考电位
RELAY　继电器
RELUCTANCE　磁阻
RESET　复位
RESISTANCE　电阻
RESISTOR　电阻器
ROTATING MAGNETIC FIELD　旋转磁场
ROTOR　转子
SHORT CIRCUIT　短路
SHORT-CIRCUIT CURRENT　短路电流
SILICON-CONTROLLED RECTIFIER　可控硅整流器
SINGLE-PHASE ASYNCHRONOUS MOTOR　单相异步电动机
SINUSOIDAL A-C CIRCUIT　正弦交流电路
SOURCE TRANSFORMATIONS　电源转换
SOURCE　电源
SOURCE　源极
STAR CONNECTION　星形连接
STATOR　定子
STORAGE BATTRIES　蓄电池
SWITCH　开关
SYNCHRONOUS MOTOR　同步电动机
THREE-PHASE ASYNCHRONOUS MOTOR　三相异步电动机
THREE-PHASE CIRCUIT　三相电路
THREE-PHASE FOUR-WIRE SYSTEM　三相四线制
THREE-PHASE POWER　三相功率
THREE-PHASE SOURCE　三相电源

THREE-PHASE THREE-WIRE SYSTEM　三相三线制
TIMER　定时器
TRANSISTOR　晶体管
TRAVEL SWITCH　行程开关
TRIANGULAR CONNECTION　三角形连接
VOLTAGE SOURCE　电压源
VOLTAGE　电压
VOLT-AMPERE CHARACTERISTIC　伏安特性
VOLT　伏特（电压的单位）
WATT-HOUR METER　瓦时计
WATTMETER　功率表
WATT　瓦特（功率的单位）
WAVE PERIOD　波周期
WAVE SHAPE　波形
WAVE　波
WAVE GUIDE　波导
WET-BULB TEMPERATURE　湿球温度
ZENER DIODE　稳压二极管

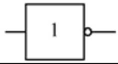
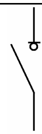
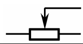
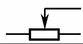
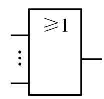
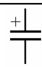
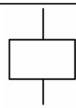
附录B　电工电子常用电路或器件符号

符　号　含　义	电路或器件符号	备　　注
NPN 型三极管		
N 沟道场效应管		
PNP 型三极管		
P 沟道场效应管		
按钮开关		
单极转换开关		
导线丁字形连接		
导线间绝缘击穿		

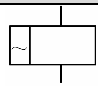
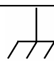
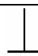
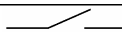
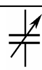
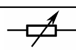
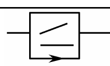
续表

符 号 含 义	电路或器件符号	备　　注
电池		表示电池组或蓄电池
电感		
电感（带铁心）		
电感（带铁心有间隙）		
电气或电路连接点		
电阻		
调制器		
端子		
断路器		
二极管		
反相器		
放大器		

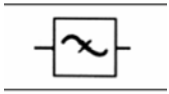
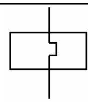
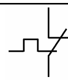
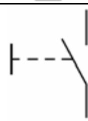
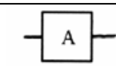
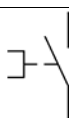
续表

符 号 含 义	电路或器件符号	备　　注
“非门”逻辑元件		
蜂鸣器		
高压负荷开关		
高压隔离开关		
滑动电位器		
滑动电阻器		
“或”逻辑元件		
极性电容		如电解电容
继电器线圈		
交流	～	表示交流电源
交流电动机		
交流发电动机		

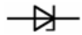
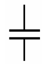
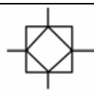
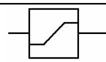
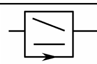
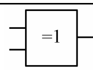
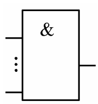
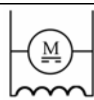
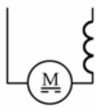
续表

符 号 含 义	电路或器件符号	备　　注
交流继电器线圈		
交流整流器		
接触器动断触点		
接触器动合触点		
接地		热地
接地		抗干扰接地
接地		保护接地
接地		接机壳
接地		冷地
开关		
可变电容		
可变电阻		
扩展器		

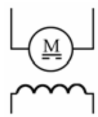
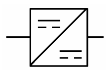
续表

符 号 含 义	电路或器件符号	备　　注
滤波器		
桥式全波整流器		
热继电器开关		
热继电器驱动部分		
热敏开关		
三相永磁同步电动机		
三相永磁同步发电动机		
手动开关		
衰减器		
推拉开关		

续表

符 号 含 义	电路或器件符号	备　　注
稳压二极管		
无极性电容		
线圈（混合）		
削波器		
压缩器		
“异或”逻辑元件		
“与”逻辑元件		
直流		表示直流电源
直流并励电动机		
直流串磁电动机		
直流电动机		
直流发电机		

续表

符 号 含 义	电路或器件符号	备　　注
直流他励电动机		
直流−直流变换器		
中性线、零线	—— N	L 表示火线，E 表示地线

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：（010）88254396；（010）88258888
传　　真：（010）88254397
E-mail：　dbqq@phei.com.cn
通信地址：北京市万寿路 173 信箱
　　　　　电子工业出版社总编办公室
邮　　编：100036